

宇宙線望遠鏡による 極高エネルギー宇宙線の研究

神奈川大学 工学部
多米田裕一郎



TA関連：平成27年度共同利用研究課題



整理番号	研究課題	研究代表者	合計額(千円)
C01	TALE実験用地表検出器の開発と性能試験	荻尾彰一	200
C02	TA実験サイトでの超高エネルギー宇宙線観測のための新型検出器の開発	野中敏幸	650
C03	ラジコンヘリコプターによるTA大気蛍光望遠鏡キャリブレーション	多米田裕一郎	250
E25	宇宙線望遠鏡による極高エネルギー宇宙線の研究	佐川宏行	900
E26	TA地表粒子検出器による雷と関連する特異事象観測	奥田剛司	550
E27	小型電子線形加速器による空気シャワーエネルギーの絶対校正の研究	芝田達伸	700
E28	最高エネルギー宇宙線の電波的観測の研究	池田大輔	500
E29	紫外線撮像望遠鏡によるTAサイトでの空気シャワー蛍光光の観測	川崎賀也	750
E30	TA-EUSO64chマルチアノードPMTの校正とCRAYSとの比較	竹田成宏	95
計	9 課題		4,595

ご支援ありがとうございます。

Telescope Array Collaboration



R.U. Abbasi¹, M. Abe², T. Abu-Zayyad¹, M. Allen¹, R. Azuma³, E. Barcikowski¹, J.W. Belz¹, D.R. Bergman¹, S.A. Blake¹, R. Cady¹, M.J. Chae⁴, B.G. Cheon⁵, J. Chiba⁶, M. Chikawa⁷, W.R. Cho⁸, T. Fujii⁹, M. Fukushima^{9,10}, T. Goto¹¹, W. Hanlon¹, Y. Hayashi¹¹, N. Hayashida¹², K. Hibino¹², K. Honda¹³, D. Ikeda⁹, N. Inoue², T. Ishii¹³, R. Ishimori³, H. Ito¹⁴, D. Ivanov¹, C.C.H. Jui¹, K. Kadota¹⁵, F. Kakimoto³, O. Kalashev¹⁶, K. Kasahara¹⁷, H. Kawai¹⁸, S. Kawakami¹¹, S. Kawana², K. Kawata⁹, E. Kido⁹, H.B. Kim⁵, J.H. Kim¹, J.H. Kim¹⁹, S. Kitamura³, Y. Kitamura³, V. Kuzmin¹⁶, Y.J. Kwon⁸, J. Lan¹, S.I. Lim⁴, J.P. Lundquist¹, K. Machida¹³, K. Martens¹⁰, T. Matsuda²⁰, T. Matsuyama¹¹, J.N. Matthews¹, M. Minamino¹¹, Y. Mukai¹³, I. Myers¹, K. Nagasawa², S. Nagataki¹⁴, T. Nakamura²¹, T. Nonaka⁹, A. Nozato⁷, S. Ogio¹¹, J. Ogura³, M. Ohnishi⁹, H. Ohoka⁹, K. Oki⁹, T. Okuda²², M. Ono²³, A. Oshima²⁴, S. Ozawa¹⁷, I.H. Park²⁵, M.S. Pshirkov^{16,26}, D.C. Rodriguez¹, G. Rubtsov¹⁶, D. Ryu¹⁹, H. Sagawa⁹, N. Sakurai¹¹, L.M. Scott²⁷, P.D. Shah¹, F. Shibata¹³, T. Shibata⁹, H. Shimodaira⁹, B.K. Shin⁵, H.S. Shin⁹, J.D. Smith¹, P. Sokolsky¹, R.W. Springer¹, B.T. Stokes¹, S.R. Stratton^{1,27}, T.A. Stroman¹, T. Suzawa², M. Takamura⁶, M. Takeda⁹, R. Takeishi⁹, A. Taketa²⁸, M. Takita⁹, Y. Tameda¹², H. Tanaka¹¹, K. Tanaka²⁹, M. Tanaka²⁰, S.B. Thomas¹, G.B. Thomson¹, P. Tinyakov^{30,16}, I. Tkachev¹⁶, H. Tokuno³, T. Tomida³¹, S. Troitsky¹⁶, Y. Tsunesada³, K. Tsutsumi³, Y. Uchihori³², S. Udo¹², F. Urban³⁰, G. Vasiloff¹, T. Wong¹, R. Yamane¹¹, H. Yamaoka²⁰, K. Yamazaki²⁸, J. Yang⁴, K. Yashiro⁶, Y. Yoneda¹¹, S. Yoshida¹⁸, H. Yoshii³³, R. Zollinger¹, and Z. Zundel¹

¹University of Utah, ²Saitama University, ³Tokyo Institute of Technology, ⁴Ewha Womans University, ⁵Hanyang University, ⁶Tokyo University of Science, ⁷Kinki University, ⁸Yonsei University, ⁹ICRR University of Tokyo, ¹⁰Kavli IPMU the University of Tokyo, ¹¹Osaka City University, ¹²Kanagawa University, ¹³University of Yamanashi, ¹⁴RIKEN, ¹⁵Tokyo City University, ¹⁶INR of the Russian Academy of Sciences, ¹⁷Waseda University, ¹⁸Chiba University, ¹⁹Ulsan National Institute of Science and Technology, ²⁰KEK, ²¹Kochi University, ²²Ritsumeikan University, ²³Kyushu University, ²⁴Chubu University, ²⁵Sungkyunkwan University, ²⁶Moscow M.V. Lomonosov State University, ²⁷Rutgers University, ²⁸Earthquake Research Institute, University of Tokyo, ²⁹Hiroshima City University, ³⁰Université Libre de Bruxelles, ³¹Shinshu University, ³²National Institute of Radiological Science, ³³Ehime University

5カ国、33研究機関、125名



日本



アメリカ



韓国

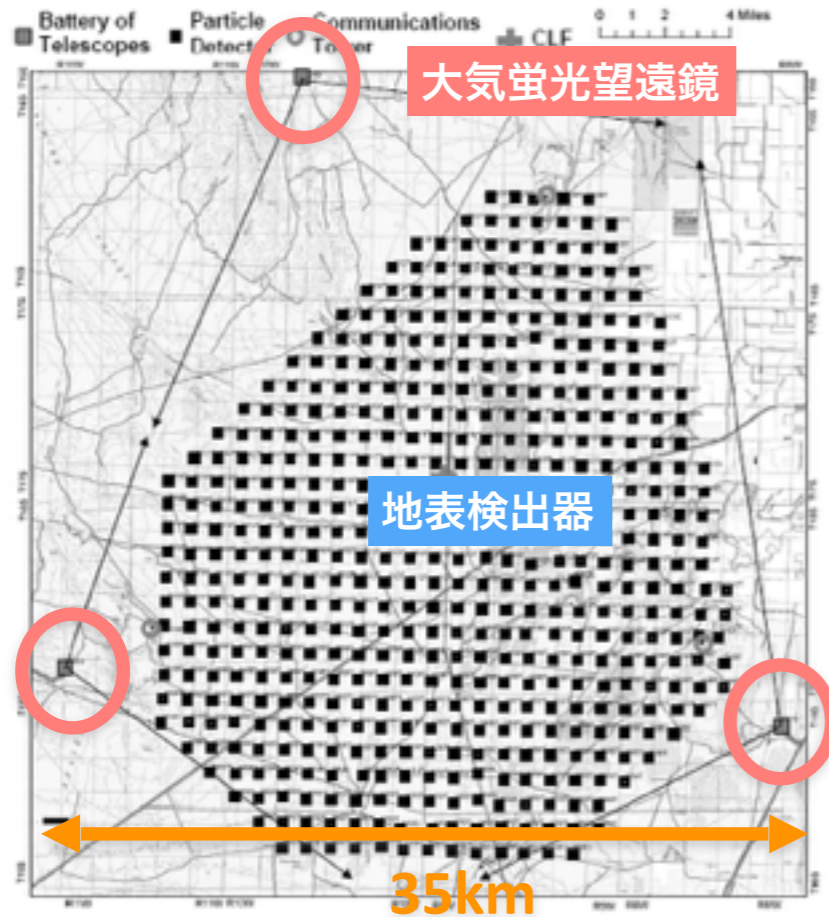


ロシア

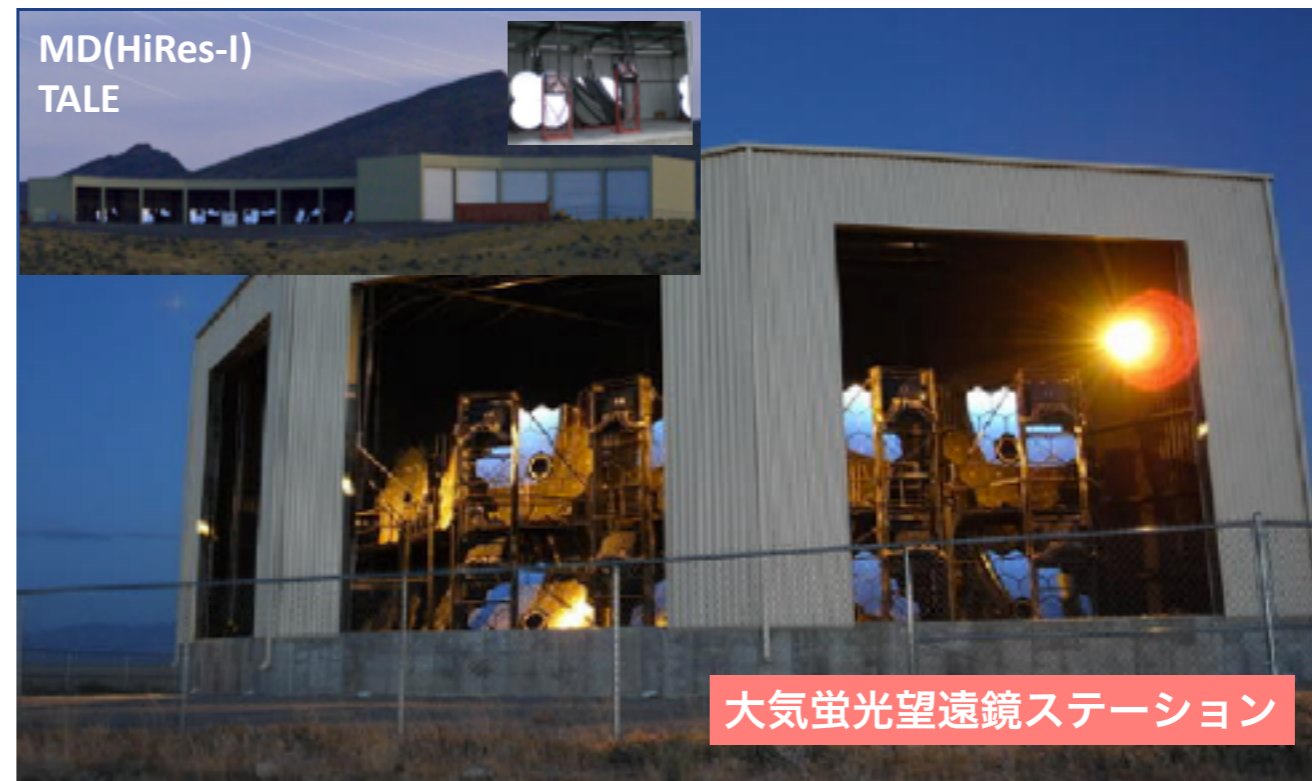


ベルギー

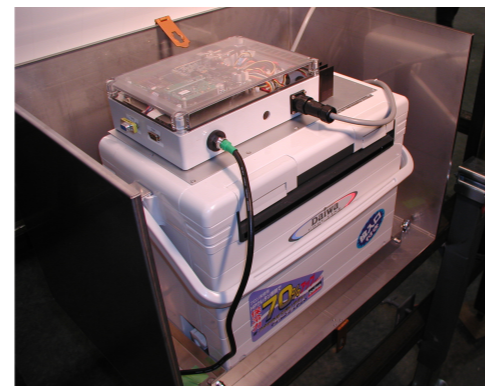
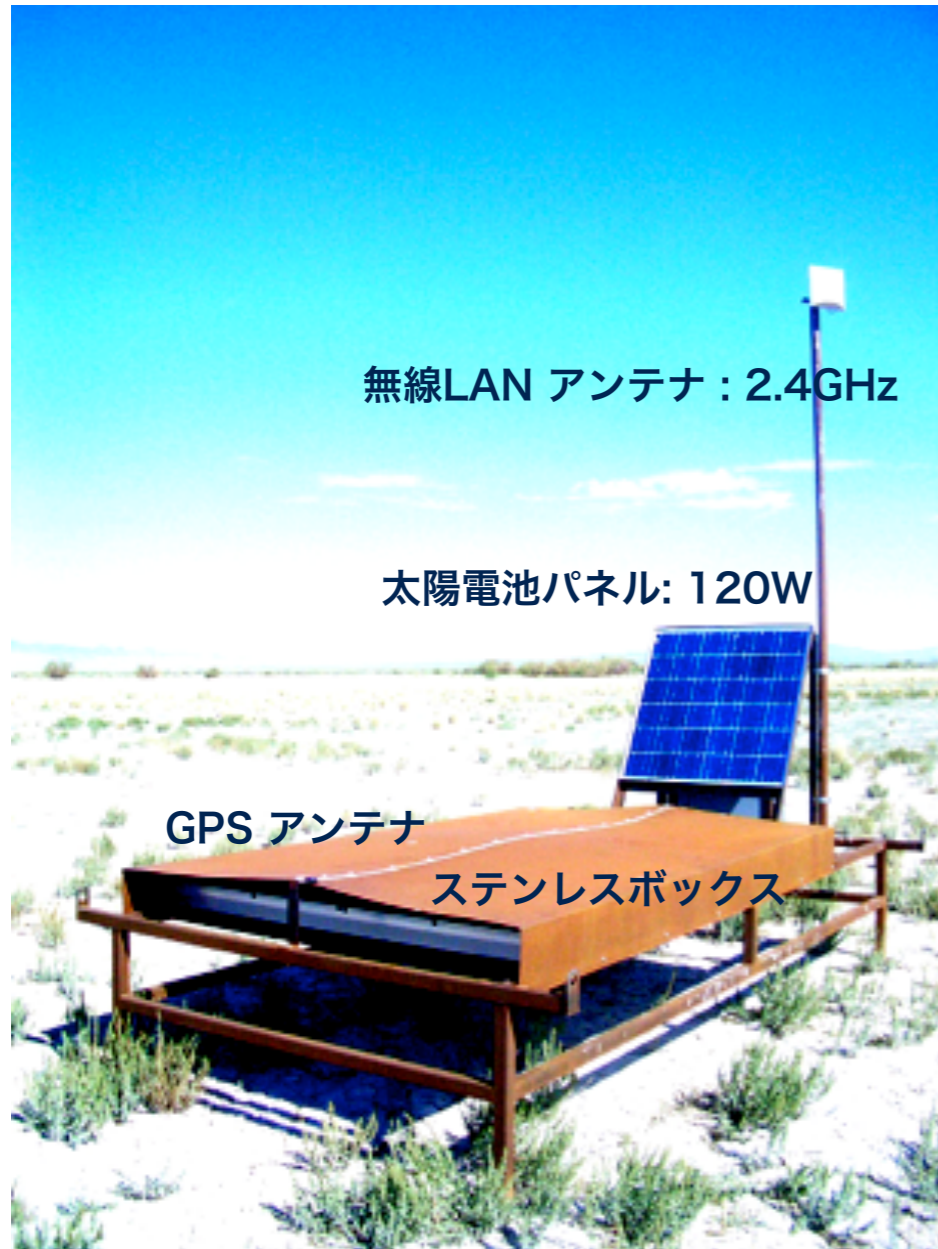
テレスコープアレイ実験



超高エネルギー宇宙線の観測
米国ユタ州ミラード郡南西部砂漠地帯
大気蛍光望遠鏡ステーション 3カ所
北サイトはHiRes-Iから移設(MD, TALE)
地表検出器 507台
敷地面積約 678 km²
2007年11月よりステレオ観測開始
2008年3月よりハイブリッド観測開始

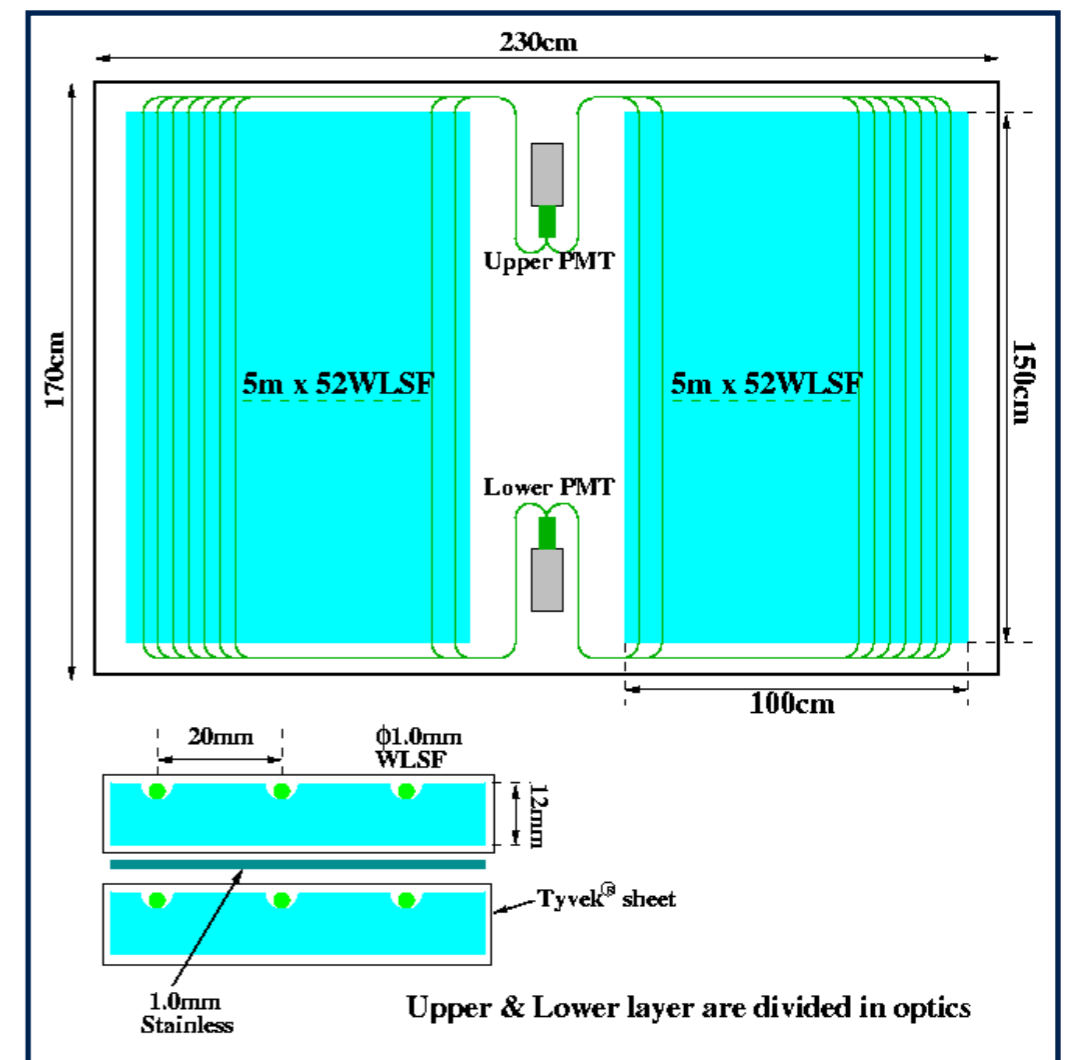


地表検出器 (SD)



FADC 12bit 50MHz
GPS
LAN-MODEM
Charge Controller
Battery

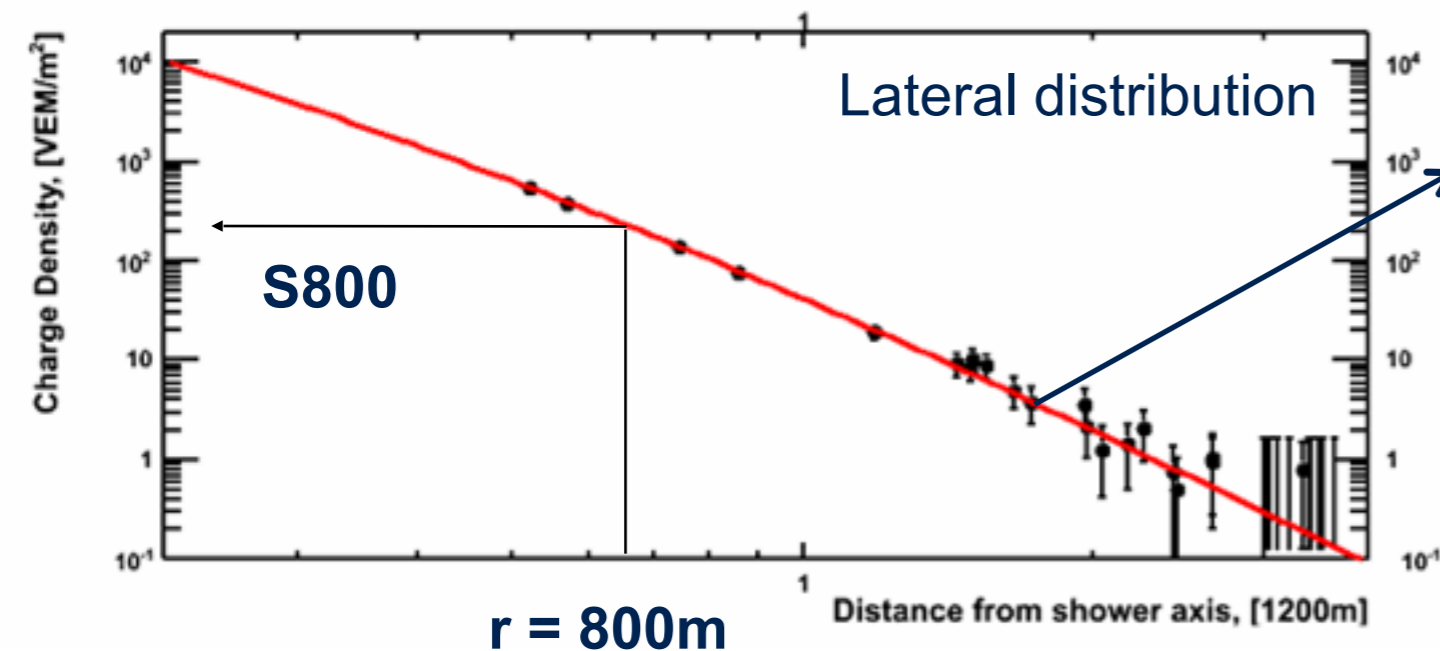
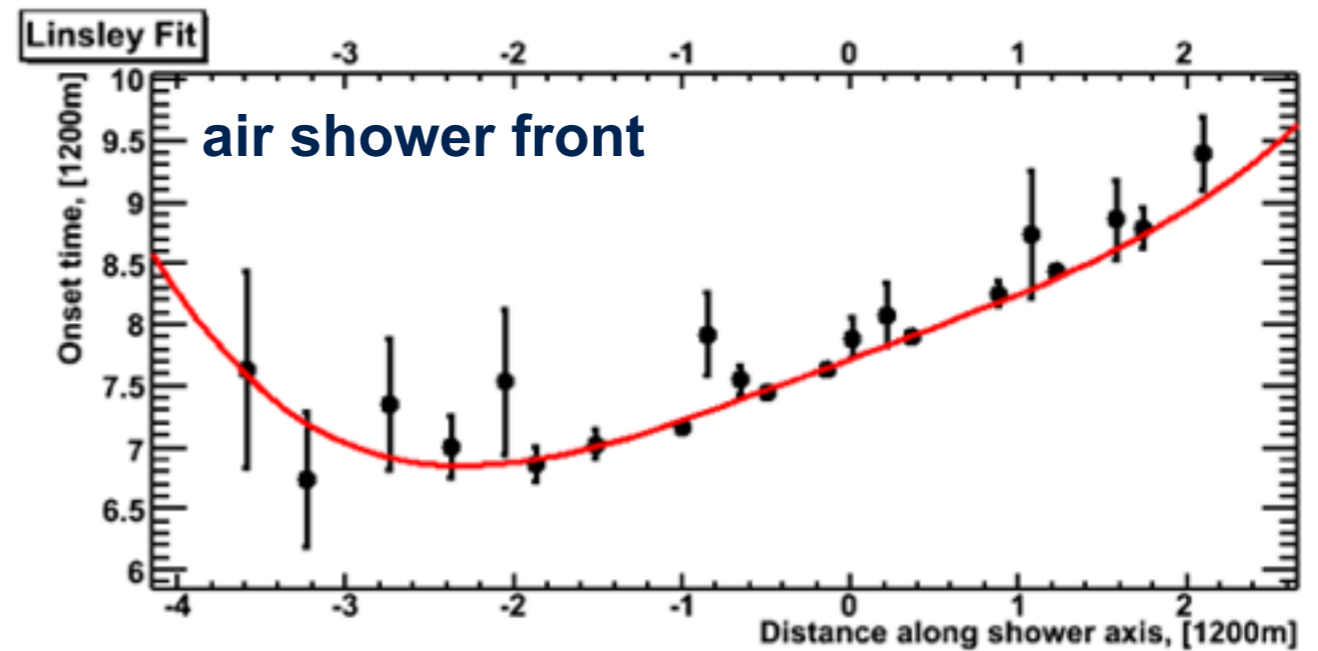
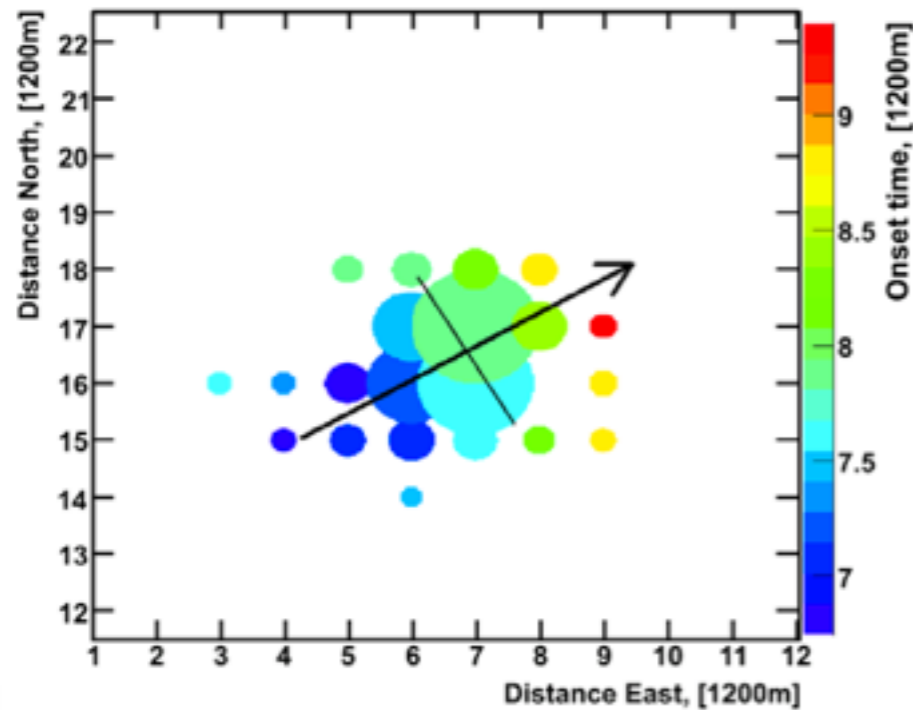
シンチレータ : $3\text{m}^2 \times 1.2\text{cm} \times 2$ 層
波長シフトファイバ : 1.0mmφ 2cm spacing
光電子増倍管 : Electrontubes 9124SA x 2



地表検出器 (SD)



観測されたSDイベント例



AGASA fitting function

$$\rho(r) \propto \left(\frac{r}{R_M}\right)^{-1.2} \left(1 + \frac{r}{R_M}\right)^{-(\eta-1.2)} \left\{1 + \left(\frac{r}{1000}\right)^2\right\}^{-0.6}$$

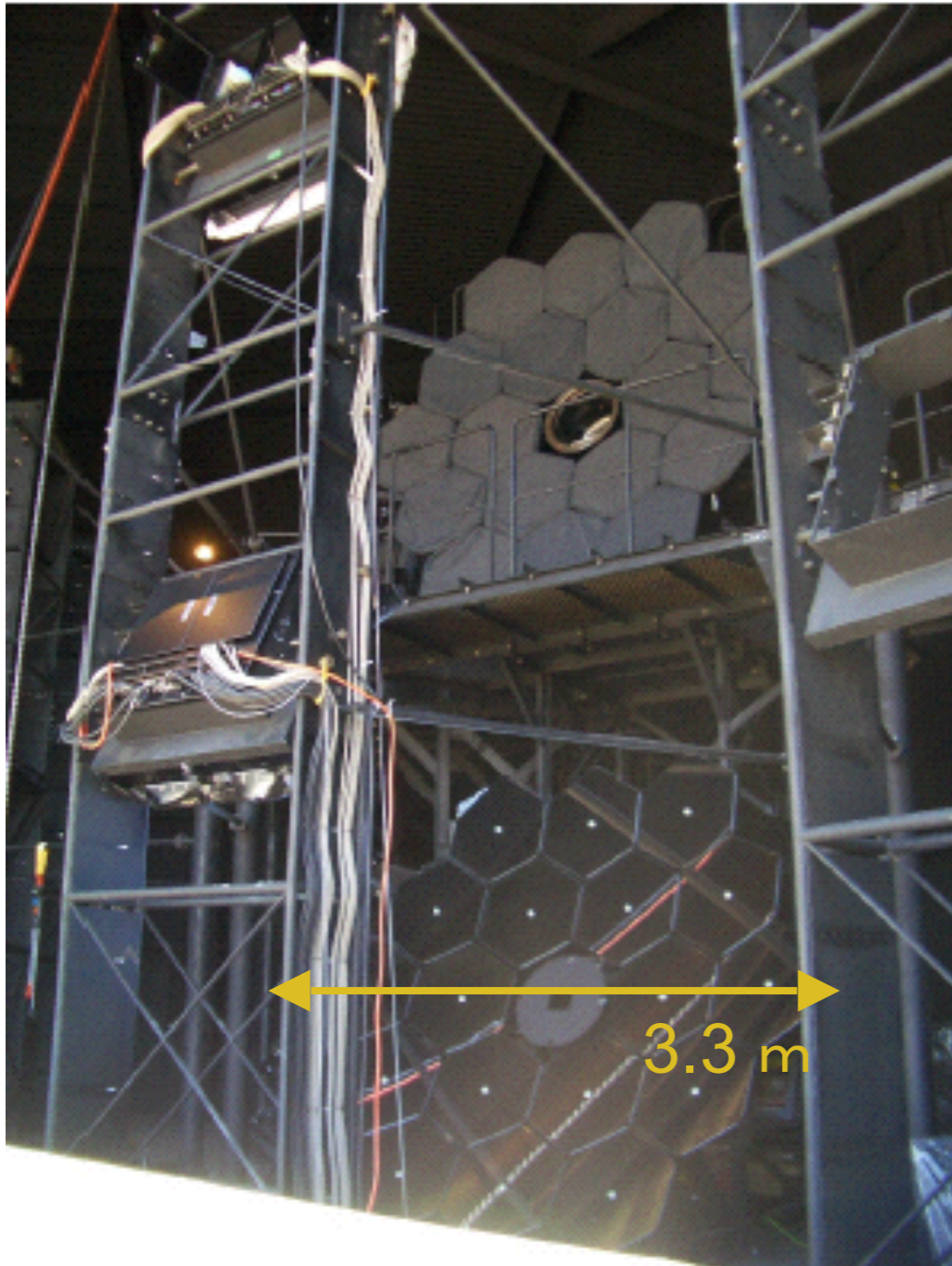
$$\eta = (3.97 \pm 0.13) - (1.79 \pm 0.62) (\sec \theta - 1)$$

S800 : energy estimator

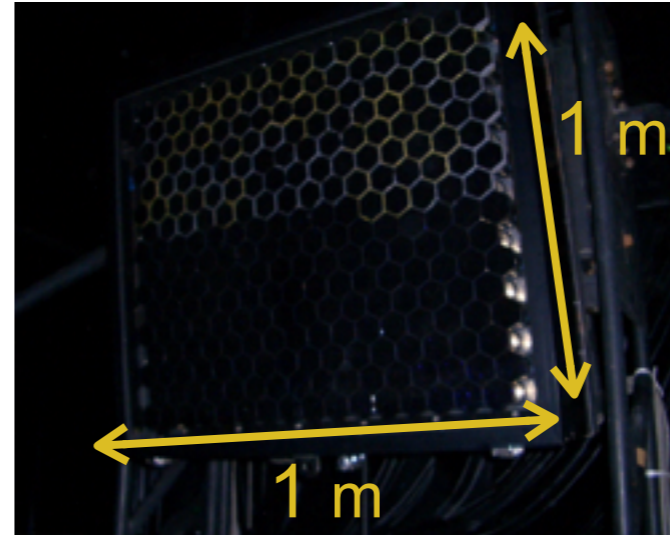
大気蛍光望遠鏡 (FD)



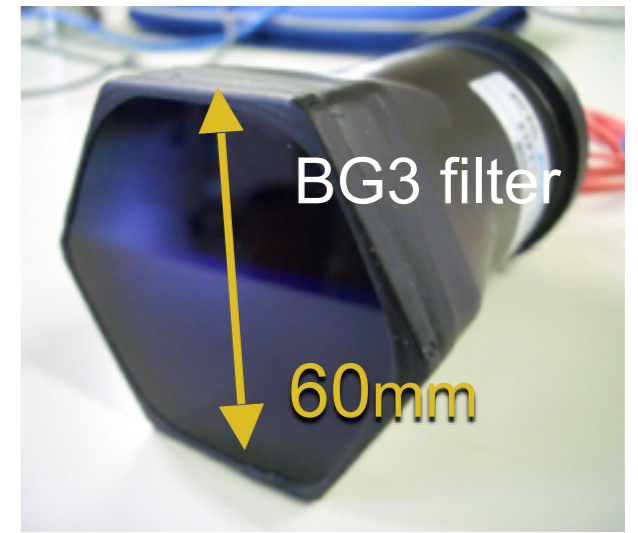
2段重ねで設置された望遠鏡



PMTカメラ



PMT



PMT | 1カメラ256本
HAMAMATSU R9508
Hexagonal bialkali photocathode
Borosilicate glass window, 8dynodes
Q.E. | 30% (350nm), Gain | 8.0×10^4 (800V)
視野 | PMT $1.1^\circ \times 1.0^\circ$, Camera $18^\circ \times 15.6^\circ$

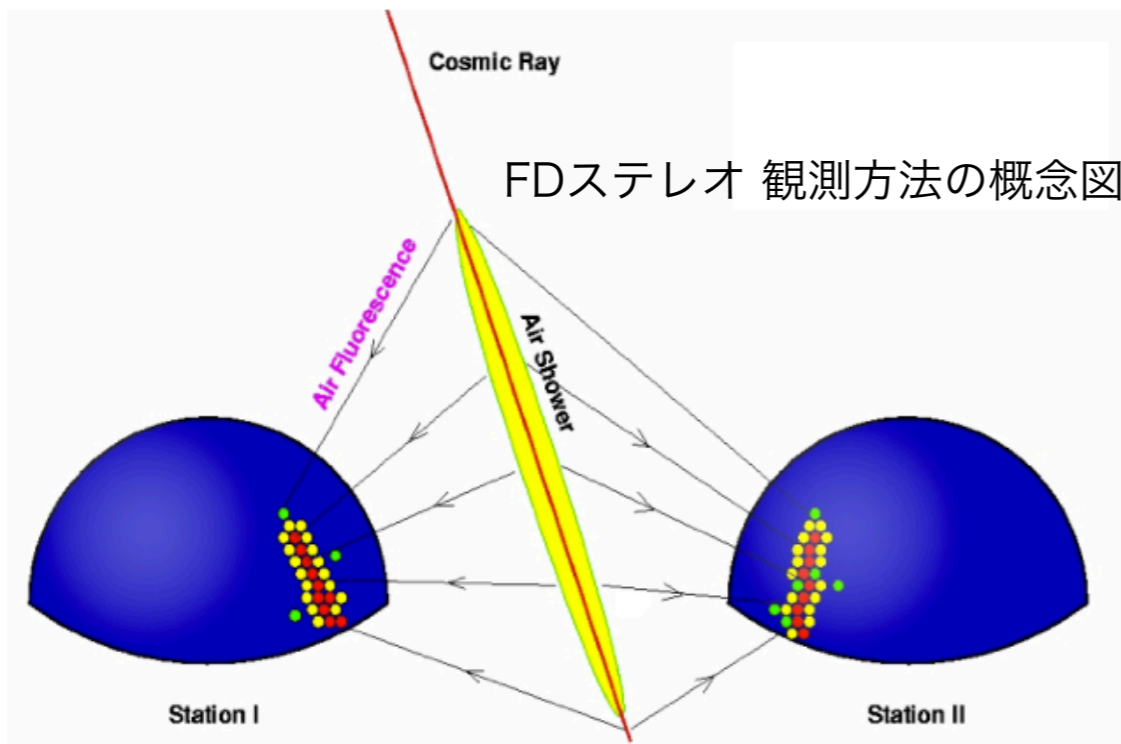
球面反射鏡

口径 | ~3.3 m (18枚から成る合成鏡)
曲率半径 | 6067 mm

大気蛍光望遠鏡 (FD)

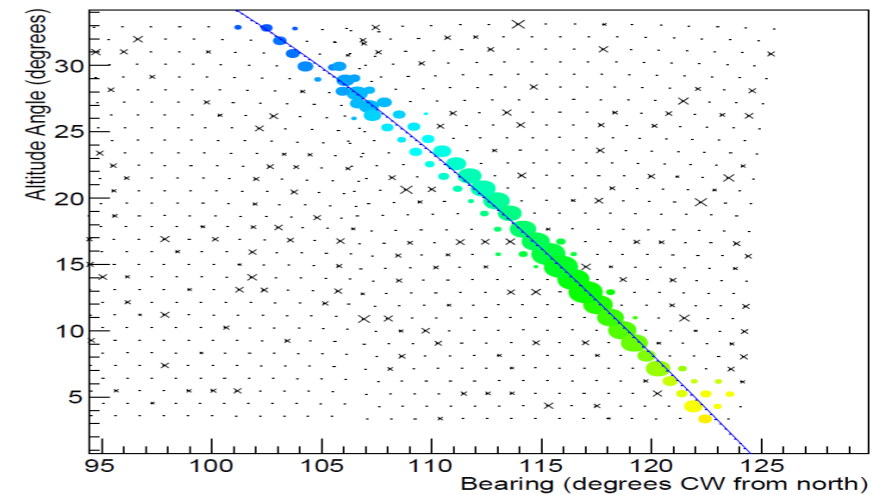


空気シャワーの縦方向発達を測定
 エネルギーをカロリメトリックに決定
 Xmaxから質量組成を決定する

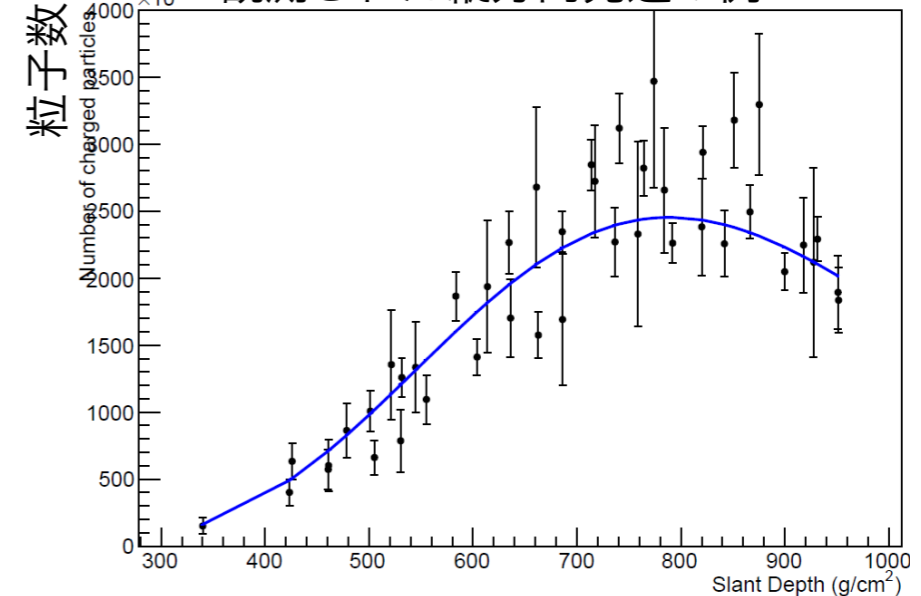


- ・ 望遠鏡 1 箇所：FD モノ
- ・ 望遠鏡 2 箇所：FD ステレオ
- ・ 望遠鏡と地表検出器：FD SD ハイブリッド

観測されたFDイベント例



観測された縦方向発達の例



縦方向発達のフィッティング関数 (G.H.関数)

$$N(X) = N_{\max} \left(\frac{X - X_0}{X_{\max} - X_0} \right)^{\frac{X_{\max} - X_0}{X}} \exp \left(\frac{X_{\max} - X}{\lambda} \right)$$

2015年 発表論文



Energy Spectrum (3)

“The hybrid energy spectrum of Telescope Array's Middle Drum Detector and surface array”,
R. U. Abbasi et al., *Astroparticle Physics*, Vol. 68 (2015), p. 27-44.

“The Energy Spectrum of Cosmic Rays above $10^{17.2}$ eV Measured by the Fluorescence Detectors of the Telescope Array Experiment in Seven Years”, R.U. Abbasi et al., 査読中, arXiv:1511.07510

“Constraining models of the sources of ultra-high-energy cosmic rays using the energy spectrum measured with the surface detector of the Telescope Array experiment”, R.U. Abbasi et al., 査読中

Mass Composition (1)

“Study of Ultra-High Energy Cosmic Ray composition using Telescope Array's Middle Drum detector and surface array in hybrid mode”, R.U. Abbasi et al., *Astroparticle Physics*, Volume 64 (2015), Pages 49-62

Hadron Interaction (1)

“Measurement of the proton-air cross section with Telescope Array's Middle Drum detector and surface array in hybrid mode”, R. U. Abbasi et al., *Phys. Rev. D* 92 (2015) 032007

Anisotropy (2)

“A NORTHERN SKY SURVEY FOR POINT-LIKE SOURCES OF EeV NEUTRAL PARTICLES WITH THE TELESCOPE ARRAY EXPERIMENT”, R. U. Abbasi et al., *The Astrophysical Journal*, Volume 804 (2015), Number 2

“Search for correlations between the arrival directions of IceCube neutrino events and ultrahigh-energy cosmic rays detected by the Pierre Auger Observatory and the Telescope Array”, IceCube + Pierre Auger + TA, 査読中

2015年 ICRC



Search for a correlation between the UHECRs measured by the Pierre Auger Observatory and the Telescope Array and the neutrino candidate events from IceCube	口頭発表
Calibration of a fluorescence detector using a flying standard light source for the Telescope Array observatory	ポスター発表
Report of the Working Group on the Composition of Ultra-High Energy Cosmic Rays	口頭発表
Initial results of a direct comparison between the Surface Detectors of the Pierre Auger Observatory and the Telescope Array	ポスター発表
Large-Scale Distribution of Arrival Directions of Cosmic Rays Detected at the Pierre Auger Observatory and the Telescope Array above 1019 eV	口頭発表
Interpretation of the energy spectrum observed with the Telescope Array surface detectors	口頭発表
Ultra-High-Energy Cosmic-Ray Hotspot Observed with the Telescope Array Surface Detectors	口頭発表
Energy Spectrum and Mass Composition of Ultra-High Energy Cosmic Rays Measured with the Telescope Array Fluorescence Detector Using a Monocular Analysis	ポスター発表
TA anisotropy summary	口頭発表
Telescope Array search for photons and neutrinos with the surface detector data	口頭発表
Cosmic Rays Energy Spectrum observed by the TALE detector using Cerenkov light	口頭発表

The distribution of shower longitudinal profile widths as measured by Telescope Array in stereo mode	ポスター発表
Imaging and non-imaging Cherenkov hybrid reconstruction	ポスター発表
TA Spectrum Summary	口頭発表
Search for EeV Protons of Galactic Origin	ポスター発表
Summary of UHECR Composition Measurements by the Telescope Array Experiment	口頭発表
Calibration of the TA Fluorescence Detectors with Electron Light Source	ポスター発表
Telescope Array measurement of UHECR composition from stereoscopic fluorescence detection	ポスター発表
Energy Spectrum and Mass Composition of Ultra-High Energy Cosmic Rays Measured by the hybrid technique in Telescope Array	ポスター発表
Test for the Radio Detection of the Extensive Air Shower using the Electron Beam in Telescope Array	ポスター発表
Anisotropy search in the Ultra High Energy Cosmic Ray Spectrum in the Northern Hemisphere using the Telescope Array surface detector	ポスター発表
Telescope Array Radar (TARA): First Measurement of EAS Radar Cross-section Upper Limit	口頭発表

Performance and Operational Status of Muon Detectors in the Telescope Array Experiment	ポスター発表
Telescope Array extension: TA x 4	口頭発表
Measurement of the Proton-Air Cross Section with Telescope Array's Middle Drum Detector and Surface Array in Hybrid Mode	口頭発表
Study of UHECR Composition Using Telescope Array's Middle Drum Detector and Surface Array in Hybrid Mode	ポスター発表
Cosmic Ray Shower Profile Track Finding for Telescope Array Fluorescence Detectors	ポスター発表
Fluorescence Detection of Cosmic Ray Air Showers Between 1016.5 eV and 1018.5 eV with the Telescope Array Low Energy Extension (TALE)	口頭発表
Search for UHE Photons with the Telescope Array Hybrid Detector	ポスター発表
Burst Shower Events Observed by the Telescope Array Surface Detector	口頭発表
Development of the TALE Surface Detector Array	ポスター発表
Studies on Time Profiles of EAS Particles Observed with the Telescope Array Surface Detectors	ポスター発表
The NICHE Array: Status and Plans	ポスター発表

エネルギースペクトル (6本)

質量組成 (12本)

到来方向解析 (6本)

拡張, R&Dなど(11本)

合計 33本

TA実験

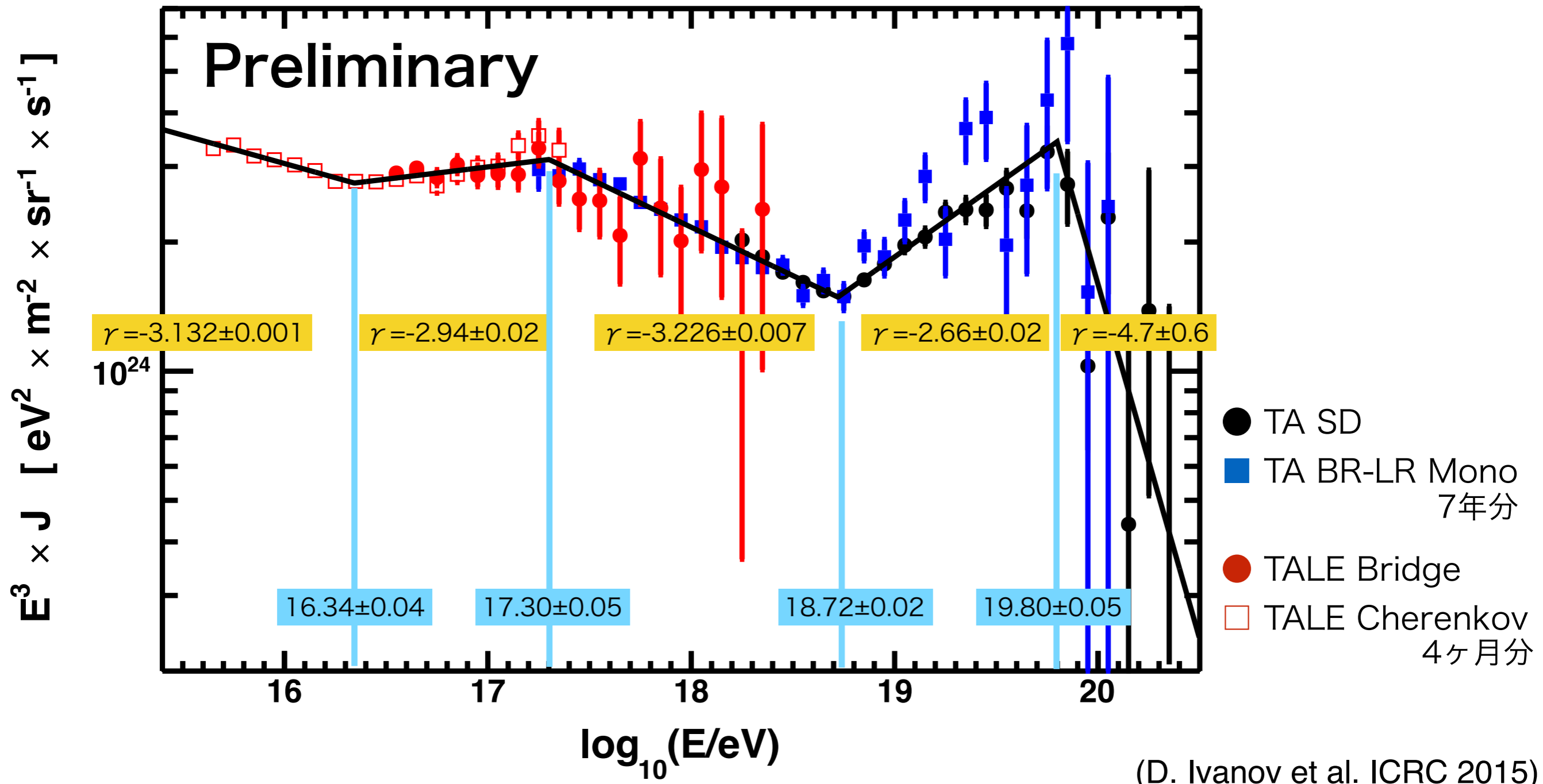
最近の解析結果

- ・ エネルギースペクトル
- ・ 到来方向解析
- ・ 質量組成解析

エネルギースペクトル



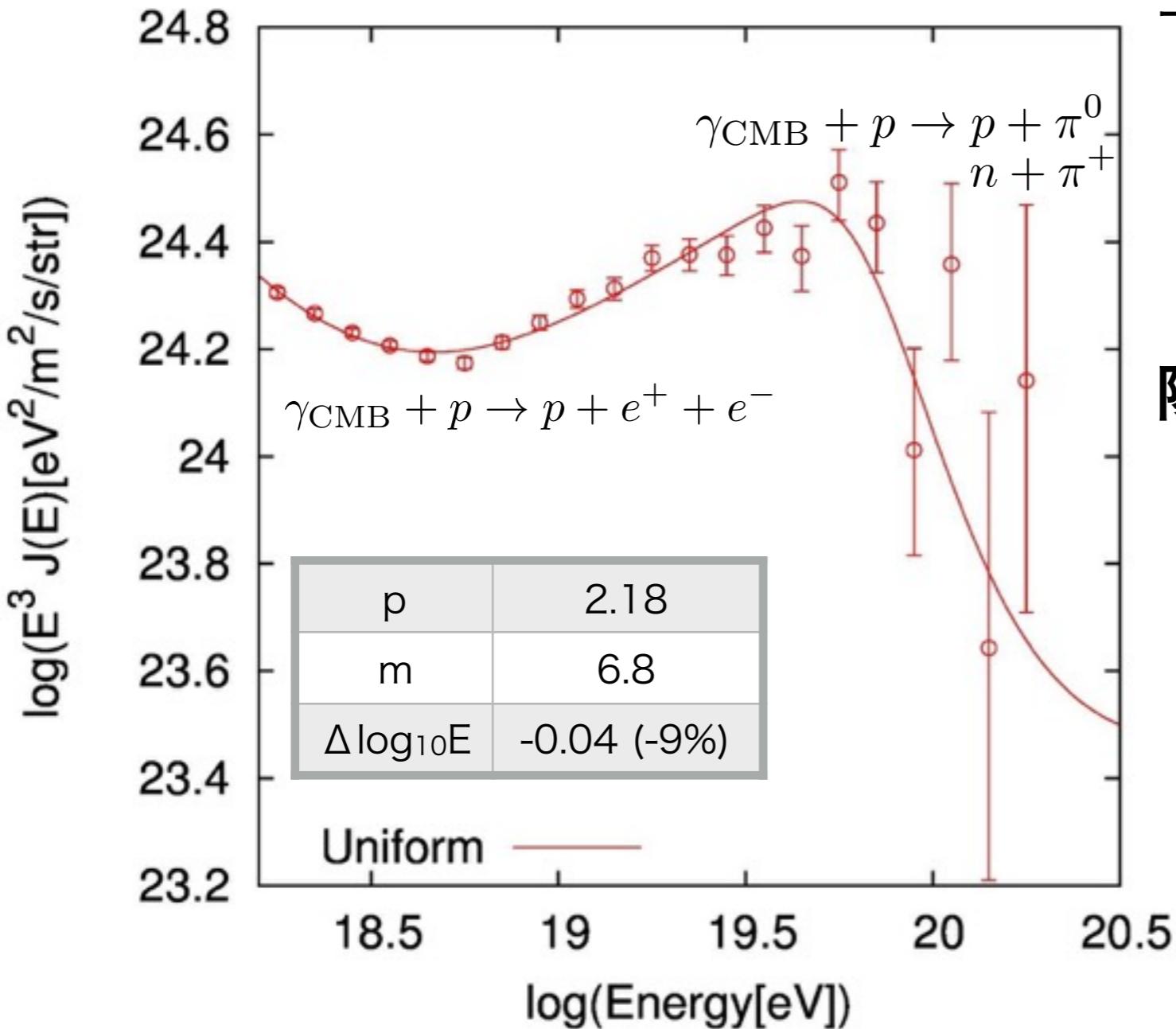
TA/TALE 実験によって
約5桁に渡ってエネルギースペクトルを測定



エネルギースペクトルの解釈



地表検出器 7年分



エネルギースペクトルをフィット

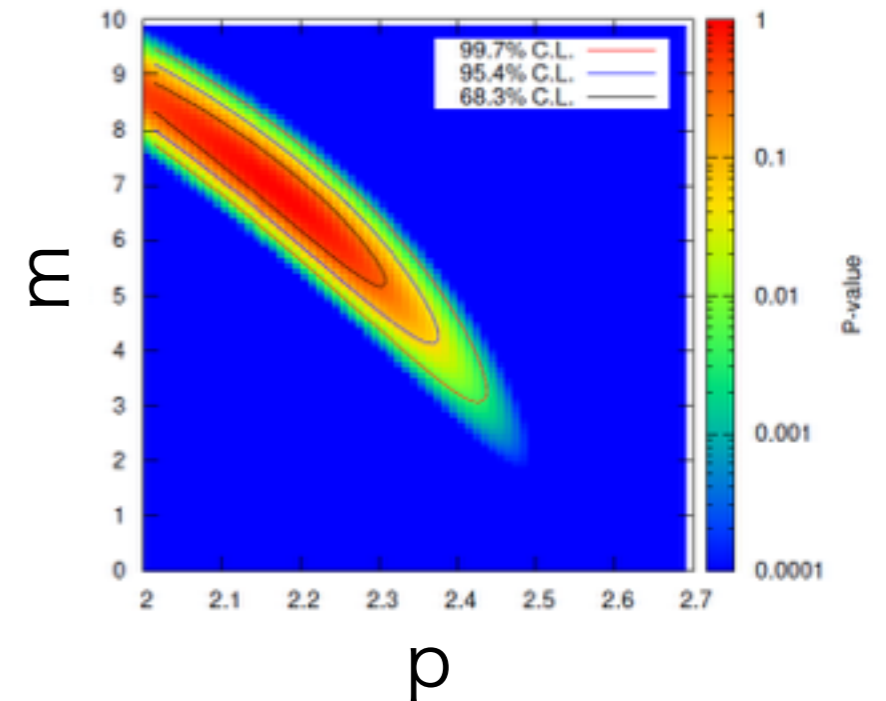
陽子組成モデル

$E > 10^{18.2} \text{eV}$

Injection spectrum : E^{-p}

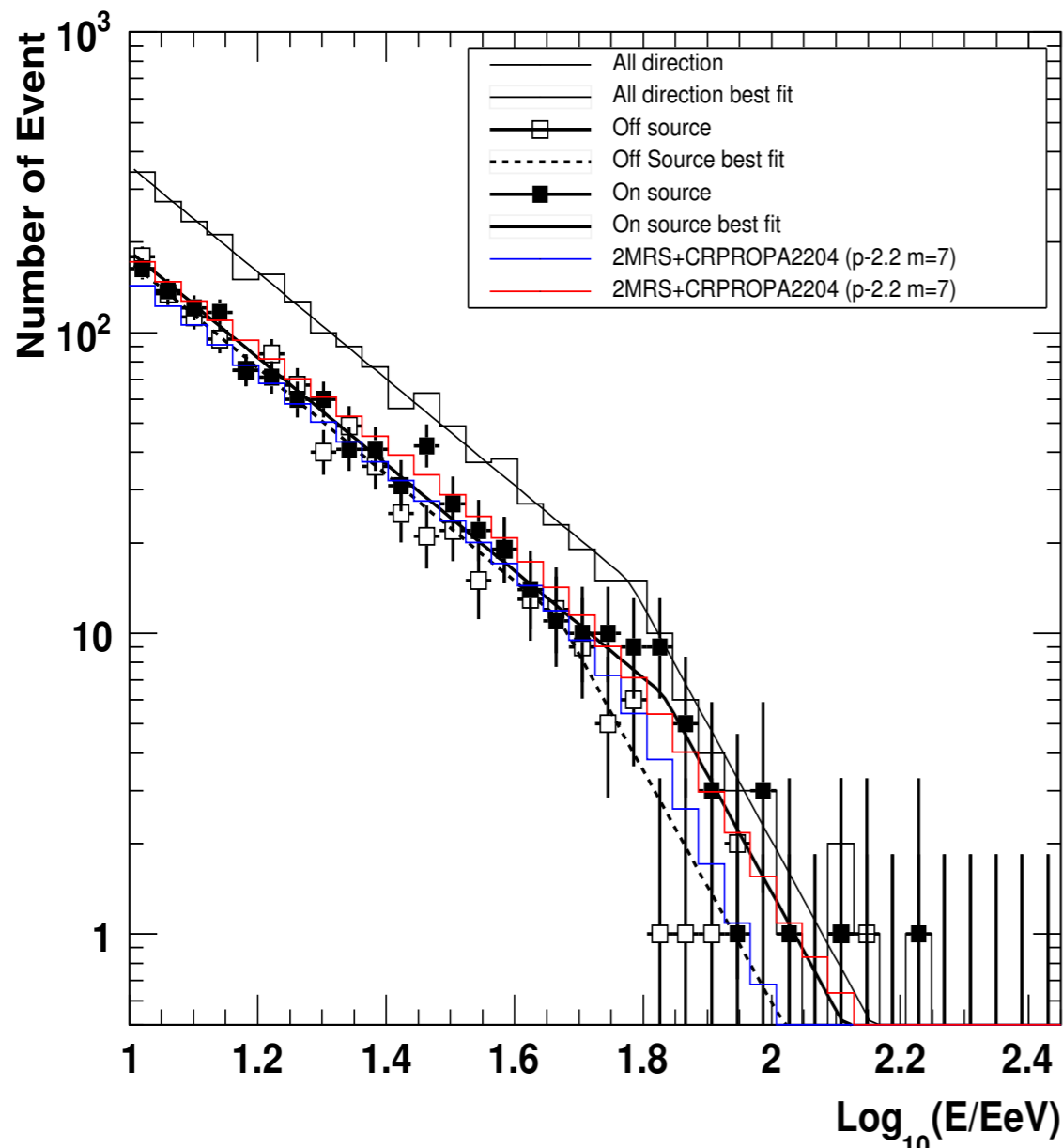
Source density : $(1+z)^m$

陽子組成モデルと無矛盾



(E. Kido et al. ICRC 2015)

エネルギースペクトルの異方性



“On source”と”Off source”でイベント数を比較

On source : SGP latitude < 30°

Off source : SGP latitude > 30°

地表検出器 5 年分

イベント数が3.2σの優位度で異なる

	α_1	$\log_{10}(E_b/EeV)$	α_2
All	-1.78	1.78	-3.91
On source	-1.78	1.83	-3.91
Off source	-1.78	1.67	-3.86

$$\frac{\Delta N(E)}{\Delta \log_{10} \left(\frac{E}{E_o} \right)} = C_0 \left(\varepsilon(E, E_b) \left(\frac{E}{E_o} \right)^{-\alpha_1} + (1 - \varepsilon(E, E_b)) \left(\frac{E}{E_o} \right)^{-\alpha_2} \right)$$

$$\varepsilon(E, E_b) = \{ 1 : (E < E_b), 0 : (E > E_b) \}$$

MCと比較

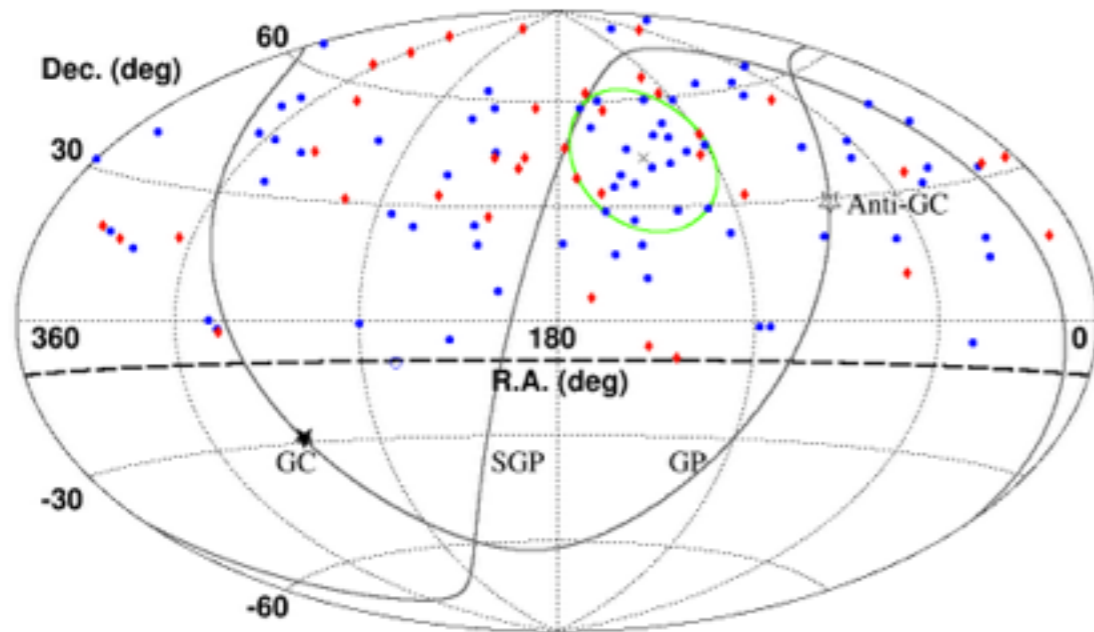
陽子組成モデルを仮定

ソース分布は2MRSカタログ

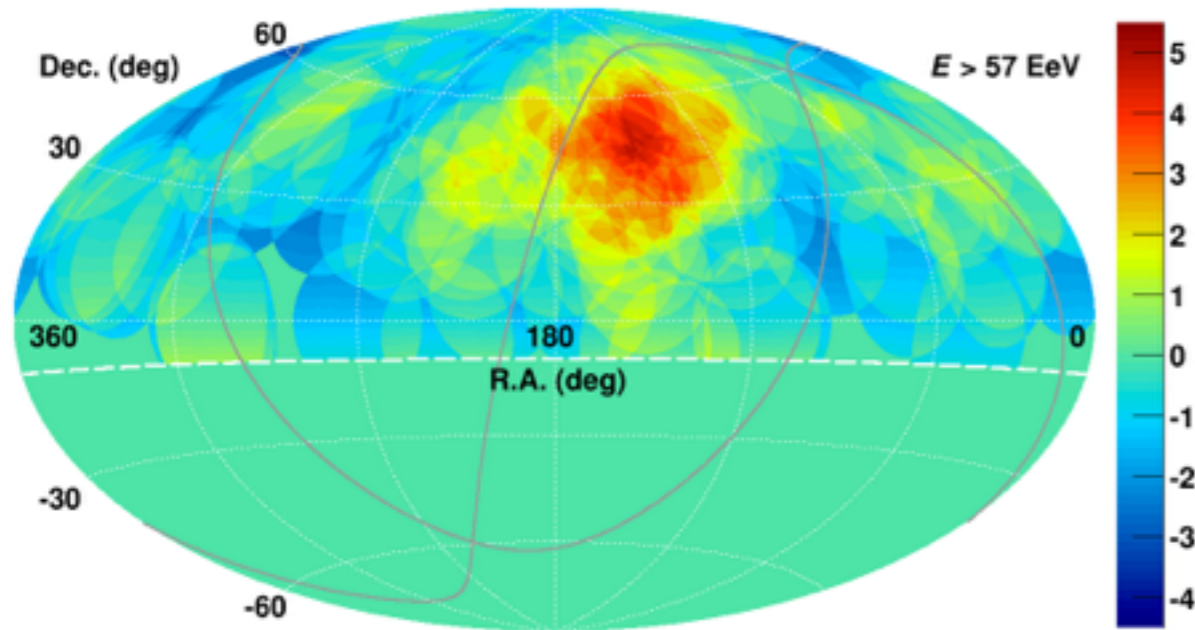
陽子組成で予言されるイベント数と無矛盾

(T. Nonaka et al. ICRC 2015)

到来方向解析



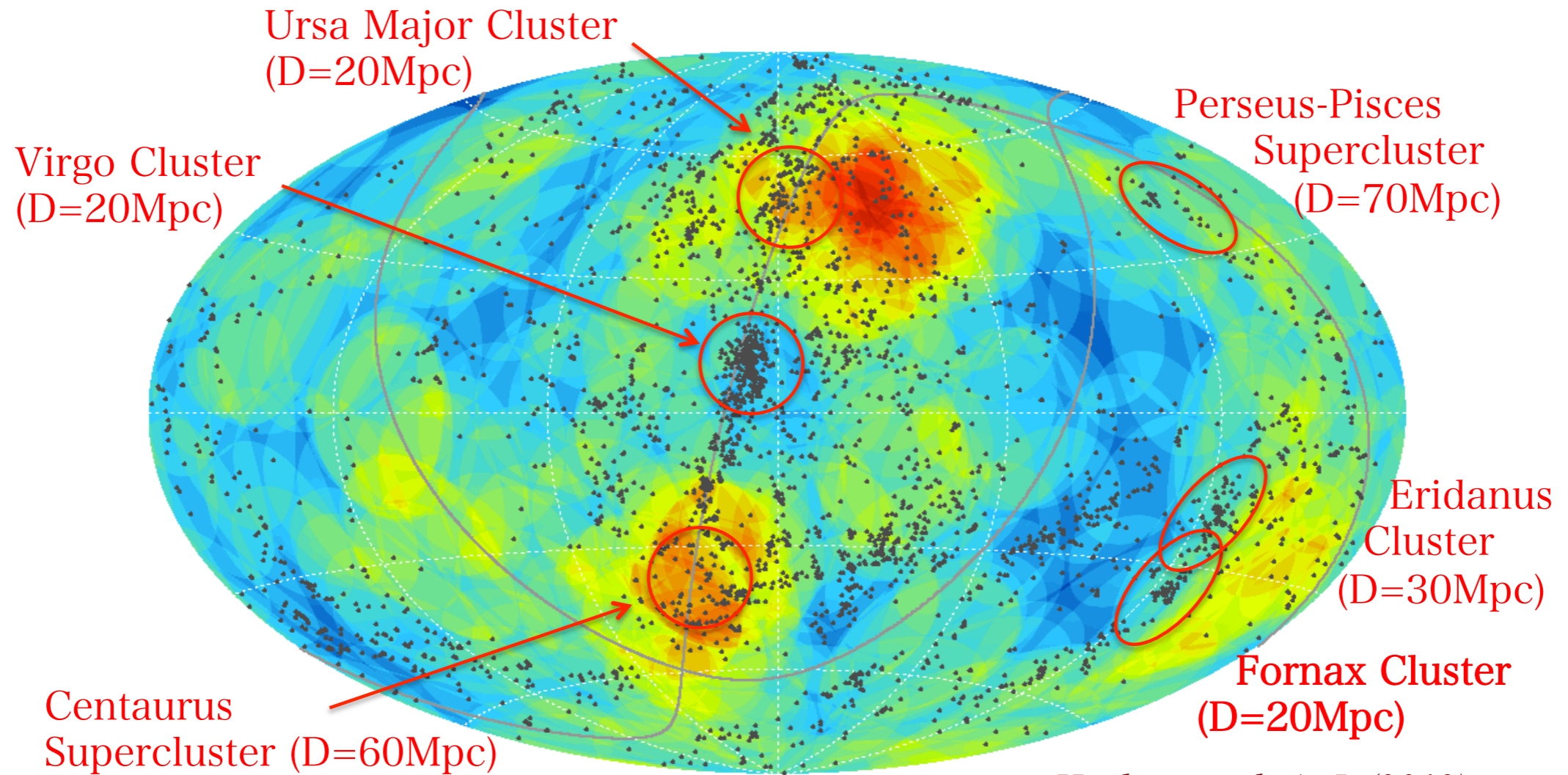
- ・ おおぐま座付近にホットスポット
Abbasi, R.U., et al., ApJL, 790, L21 (2014)
地表検出器 5年分
- ・ 地表検出器 7年分に更新
- ・ 2008 May 11 – 2015 May 11
- ・ $E > 57 \text{ EeV}$: 109 events
 - 5年分, ◆ 更新した2年分



- ・ 到来方向の優位度マップ
20度オーバーサンプリング
- ・ 20度以内に24イベント
- ・ 優位度 3.4σ (5年から変化無し)
- ・ (R.A, Decl) = (146.7°, 43.2°)
- ・ **ホットスポットの兆候あり**

(K. Kawata et al. ICRC 2015)

近傍の銀河クラスター



Huchra, et al, ApJ, (2012)

Dots : 2MASS catalog Heliocentric velocity $< 3000 \text{ km/s}$ (D $\sim 45 \text{ Mpc}$)

- ・ TA実験とAuger実験の到来方向分布
- ・ おおぐま座の方向にホットスポット
- ・ 乙女座銀河団の方向にはエクセス無

(K. Kawata et al. ICRC 2015)

質量組成



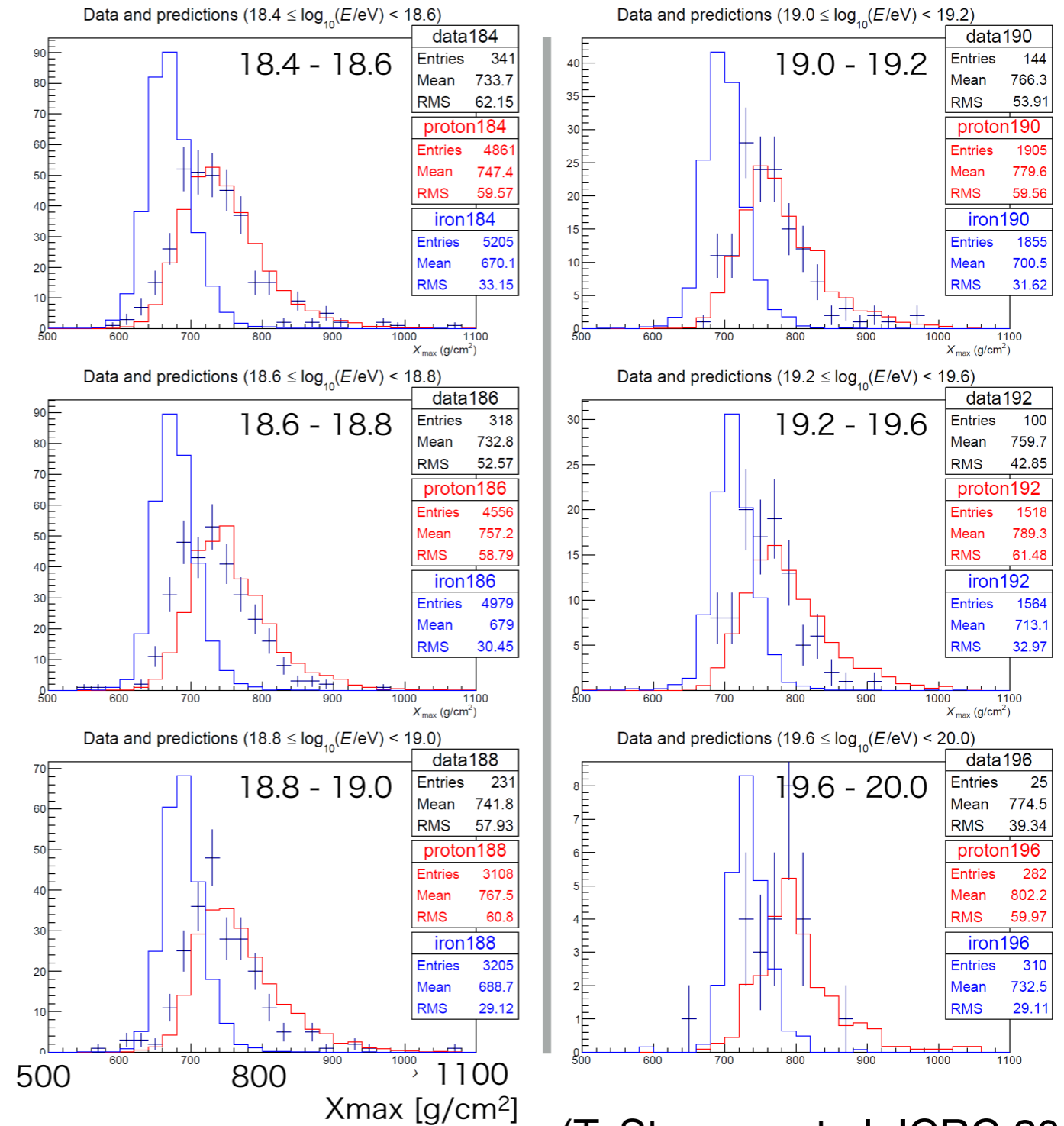
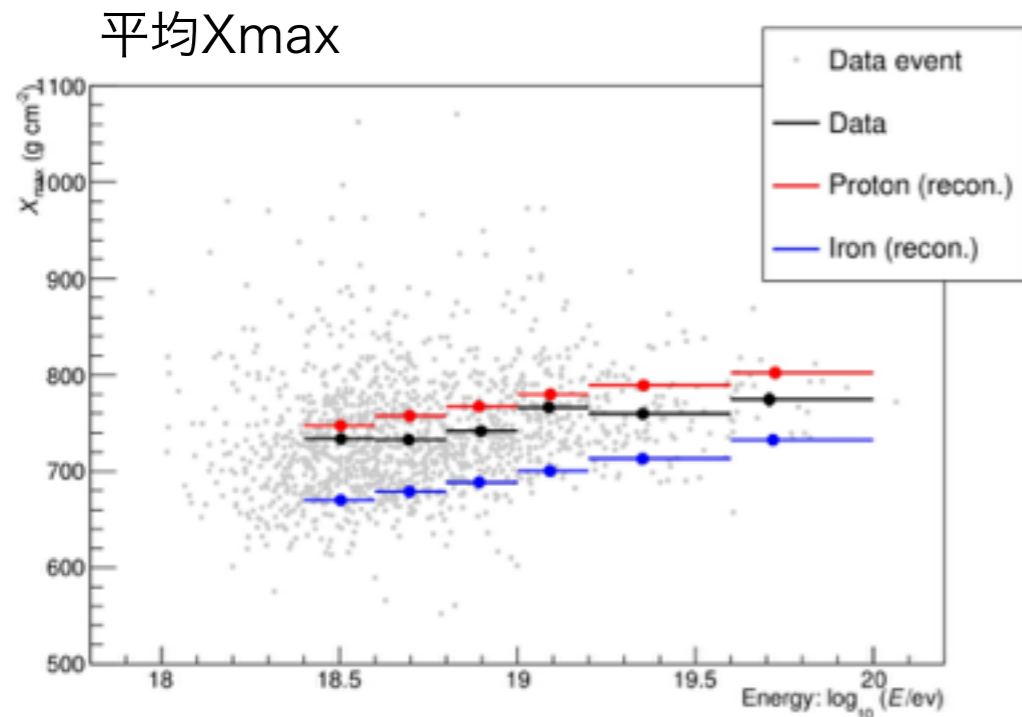
FDステレオ観測で得られたXmax
FD 7年分

MCで得られたXmax分布と比較

組成：純陽子、純鉄原子核

ハドロン相互作用モデル：QGSJET II-03

各エネルギー領域のXmax分布 (FD Stereo)

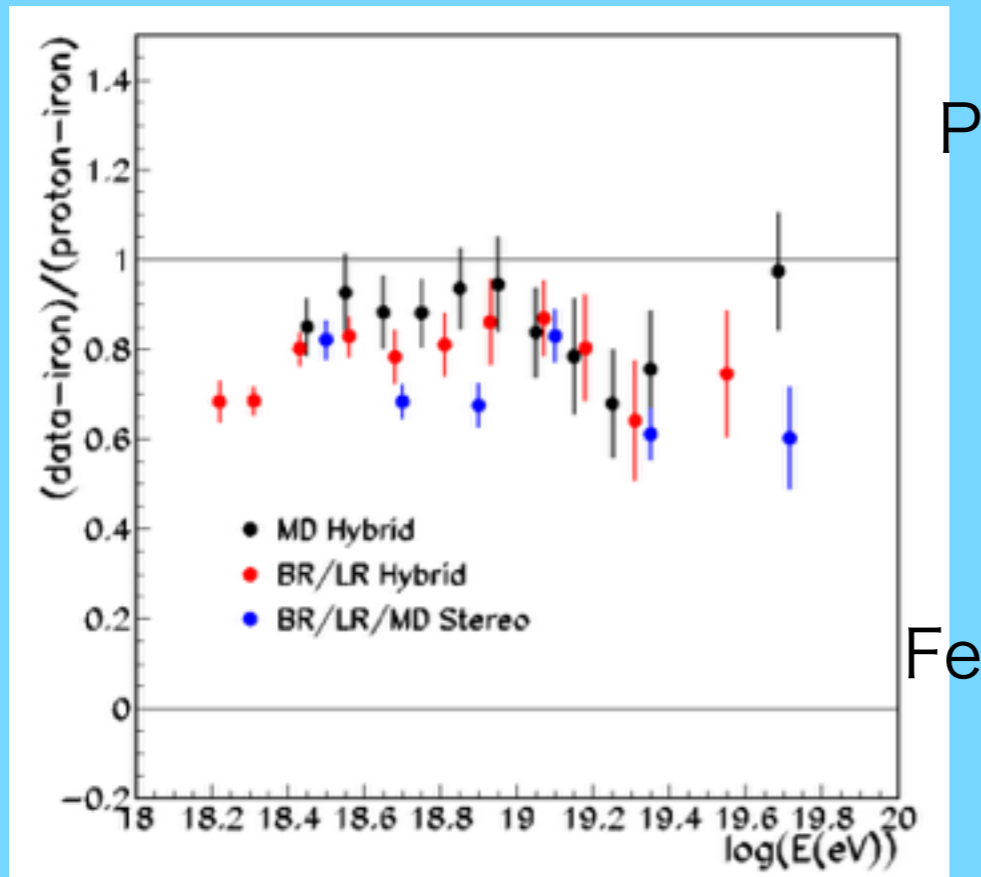


(T. Stroman et al. ICRC 2015)

質量組成



各測定による $\langle X_{\max} \rangle$ の比較

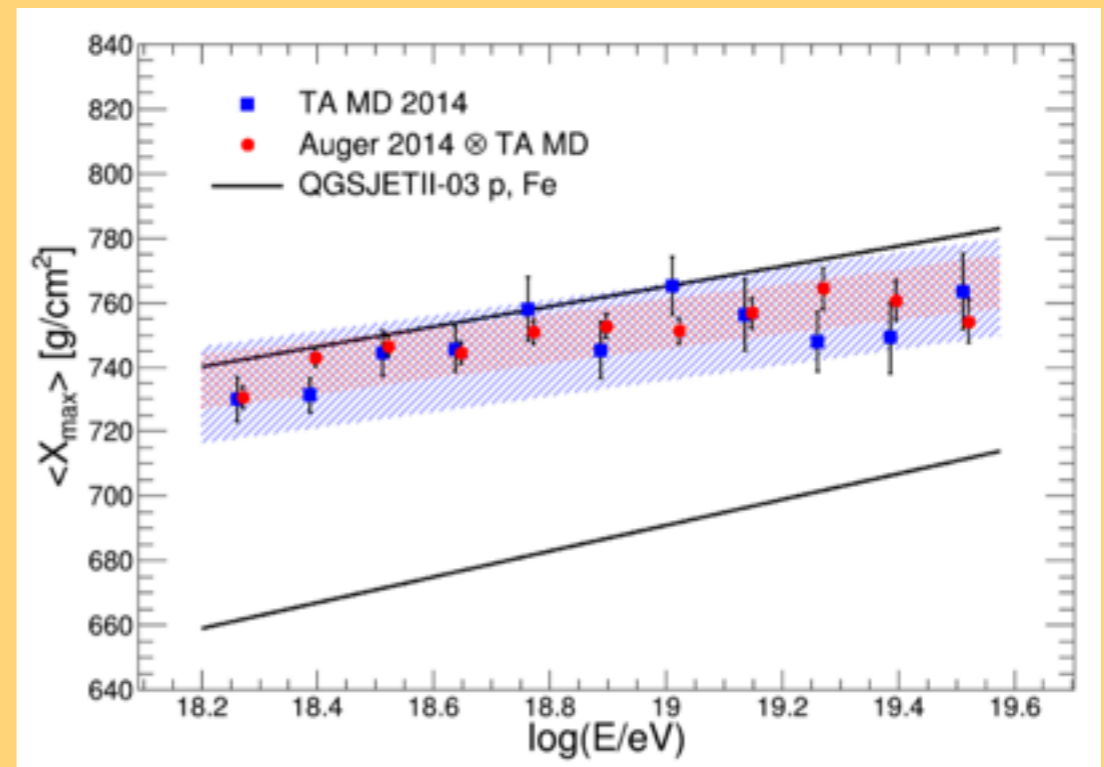


- ・ QGSJETII-03と各測定を比較
- ・ 各測定手法は系統誤差内で一致
- ・ 軽い成分からなる質量組成

(J. Belz et al. ICRC 2015)

他実験との比較

- ・ Auger実験を再現する組成を仮定
- ・ Auger実験と系統誤差内で一致
- ・ 現在の精度では、混合組成か否かを決定する事は出来ない

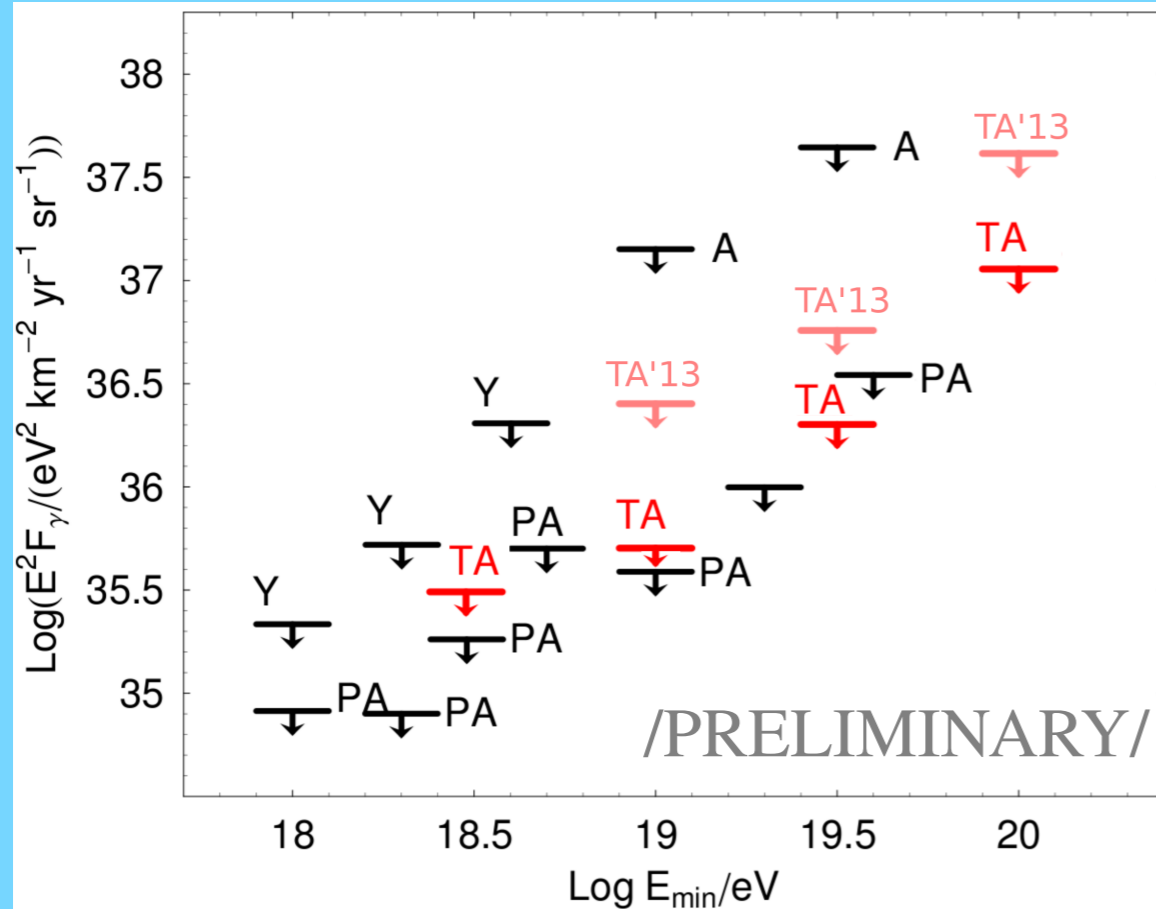


(M. Unger et al. ICRC 2015)

Photon 探索, $\sigma_{\text{proton-air}}$



Photon upper limit

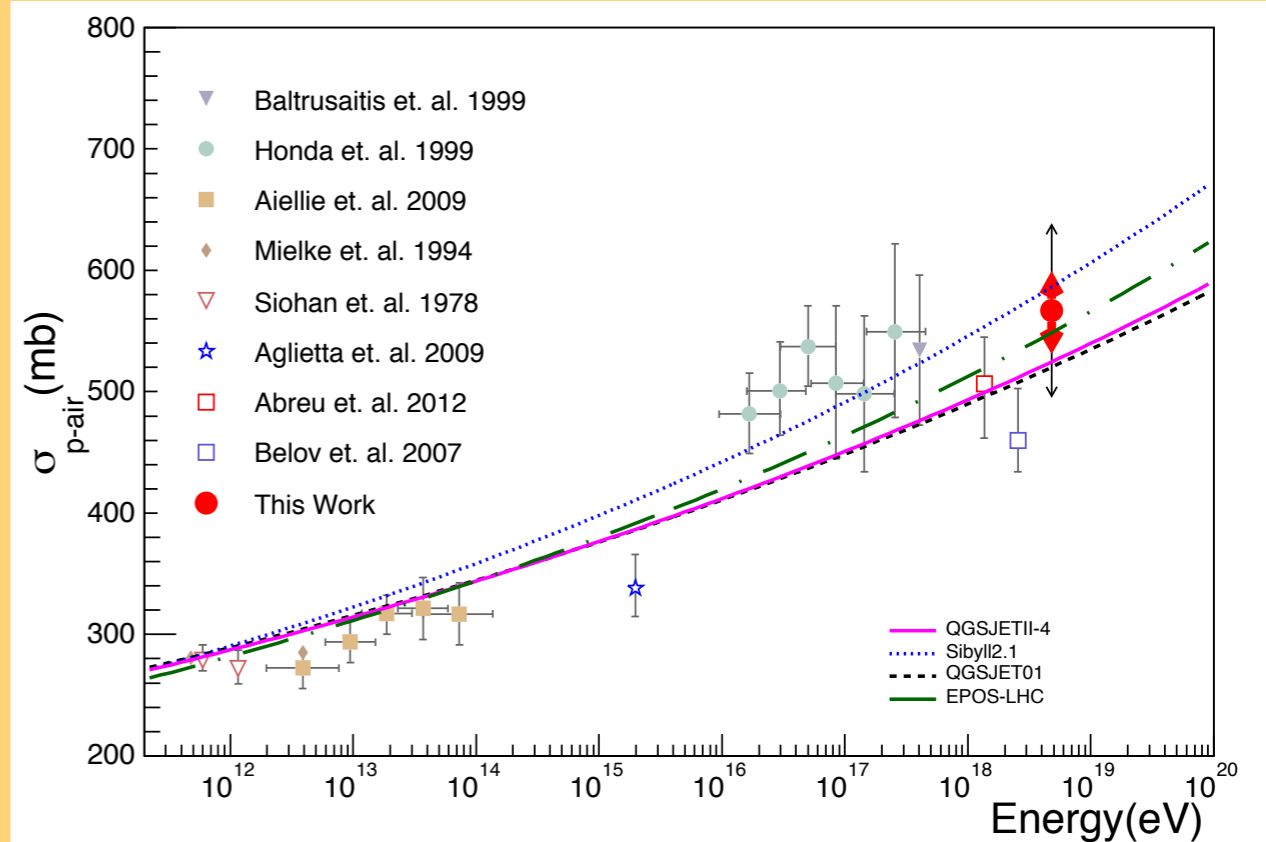


地表検出器 7年分

シャワーフロントの特徴からPhoton探索
候補事象は無し

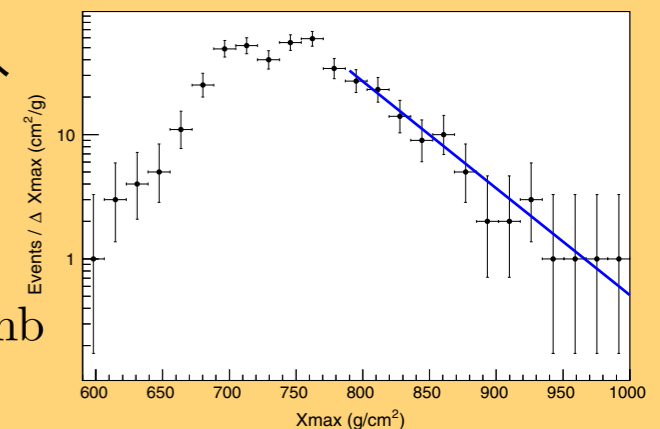
(G.I. Rubtsov et al. ICRC 2015)

Proton-air cross section



MDハイブリッド 5年分
Xmax 分布の裾を解析

$$\sigma_{\text{p-air}}^{\text{inel}} = 567.0 \pm 70.5 [\text{Stat.}]_{-20}^{+25} [\text{Sys.}] \text{ mb}$$



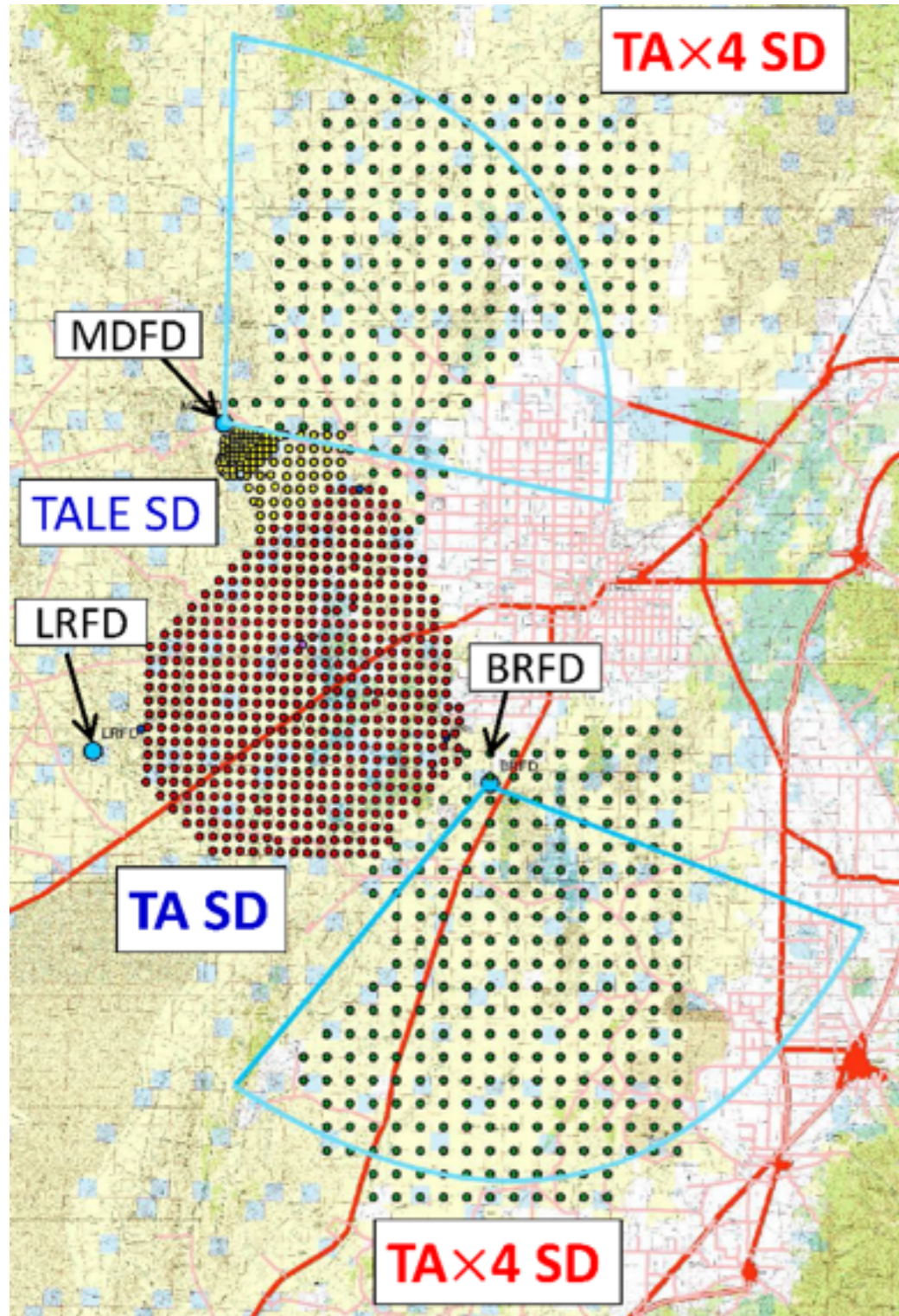
(R. U. Abbasi et al., Phys. Rev. D 92 (2015) 032007)

TA実験：拡張計画

TAx4：最高エネルギー宇宙線の起源解明

TALE：宇宙線の銀河系内から系外遷移の検出

TA x 4

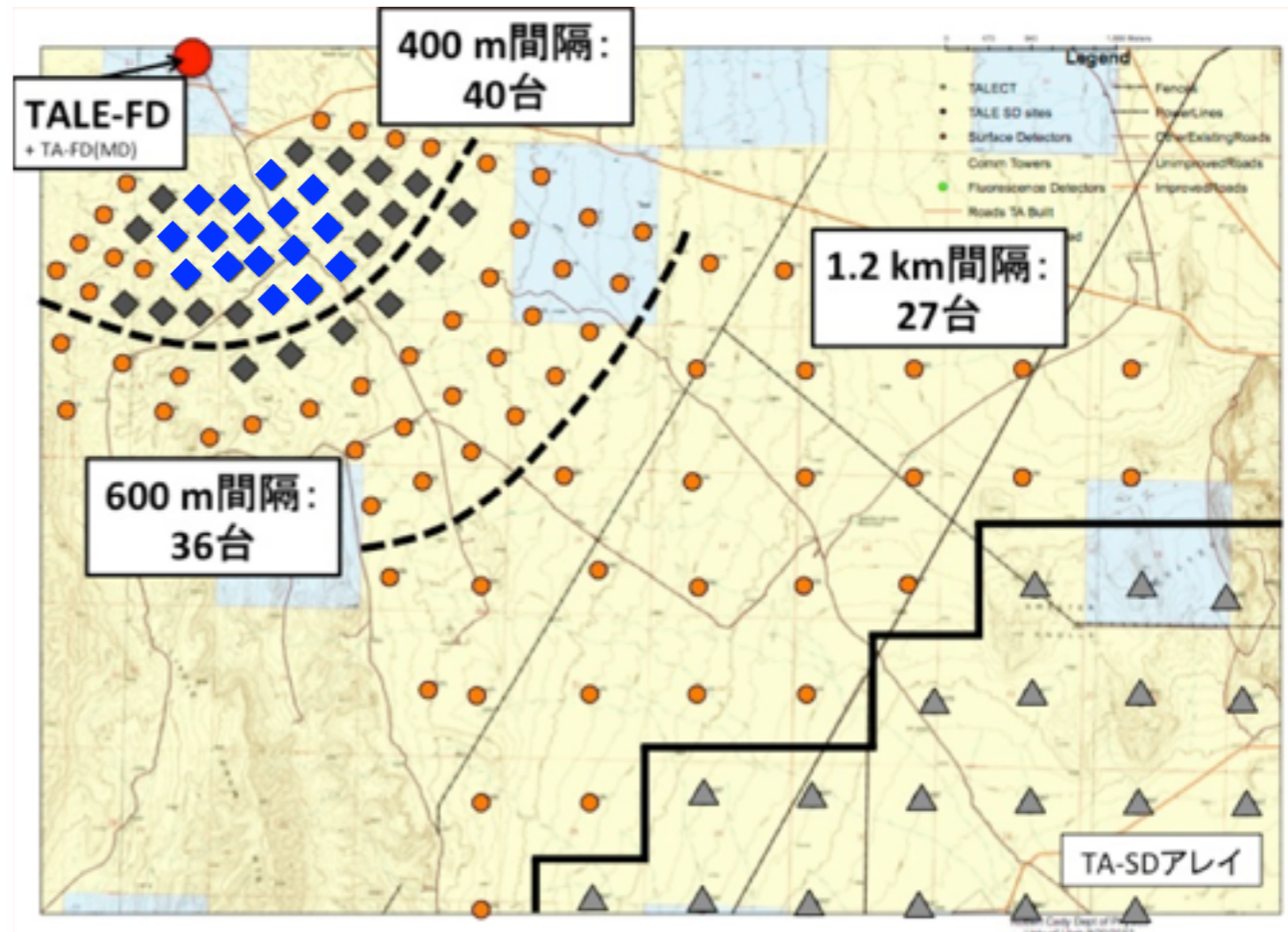
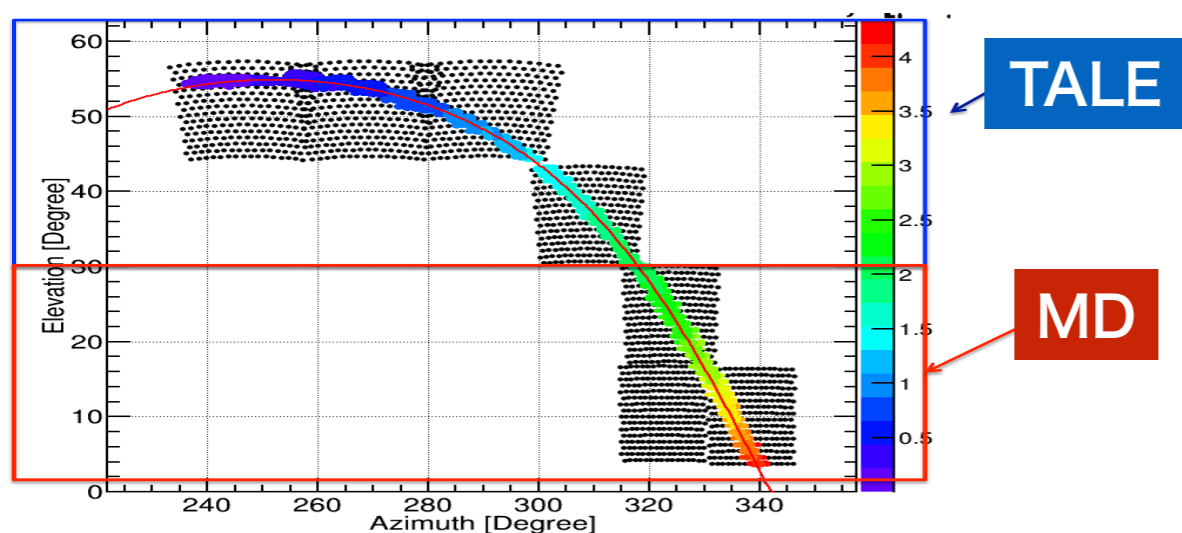


- ・ 最高エネルギー宇宙線の起源解明
地表検出器 500台 (特別推進研究, 2015-2020)
2.08 km 間隔, 2100 km²
大気蛍光望遠鏡ステーション 2箇所 (米国で申請中)
HiRes II の移設
- ・ 現行 TA SD と合わせて約3000 km²
TA SD19年分
稼働期間 2017 ~ 2020年
TAハイブリッド16年分
稼働期間 2016 ~ 2020年
- ・ ホットスポットを5 σ 以上の優位度で確定
ホットスポット構造、点源探索など

TALE : TA Low Energy Extension



- ・ TAの低エネルギー拡張実験
- ・ 宇宙線の銀河系内から銀河系外への遷移が期待されるエネルギー領域の観測
- ・ 大気蛍光望遠鏡
 - ・ 高仰角 (30 - 57deg.)
 - ・ 2013年9月より稼働
- ・ 地表検出器 (基盤研究(S), 2015-2020)
 - ・ 103台, 400m, 600m, 1.2km 間隔
 - ・ 35台設置済(黒), 16台が稼働(青)



外部評価会議



2015年10月1~3日@ユタ大

外部評価委員

F. Halzen (Chairman)

J. Peoples

J. Goodman

T. Terasawa

Y. Itow

E.S. Seo

M.I. Panasyuk

10/1

Intro.

Spectrum

Composition

Lunch

Anisotropy

γ , ν limit

σ (p-air)

Radio detection

μ studies

Physics summary

Dinner

10/2

Answers to
the EAB question

TALE SD

TAx4 SD

TAx4 FD Plan

TAx4 Discussion

Lunch

Committee

deliberations

Meeting / VP

for research

Dinner

10/3

Leave for Delta

Cosmic ray center

BRM FD

SD

Lunch

MD FD

Dinner

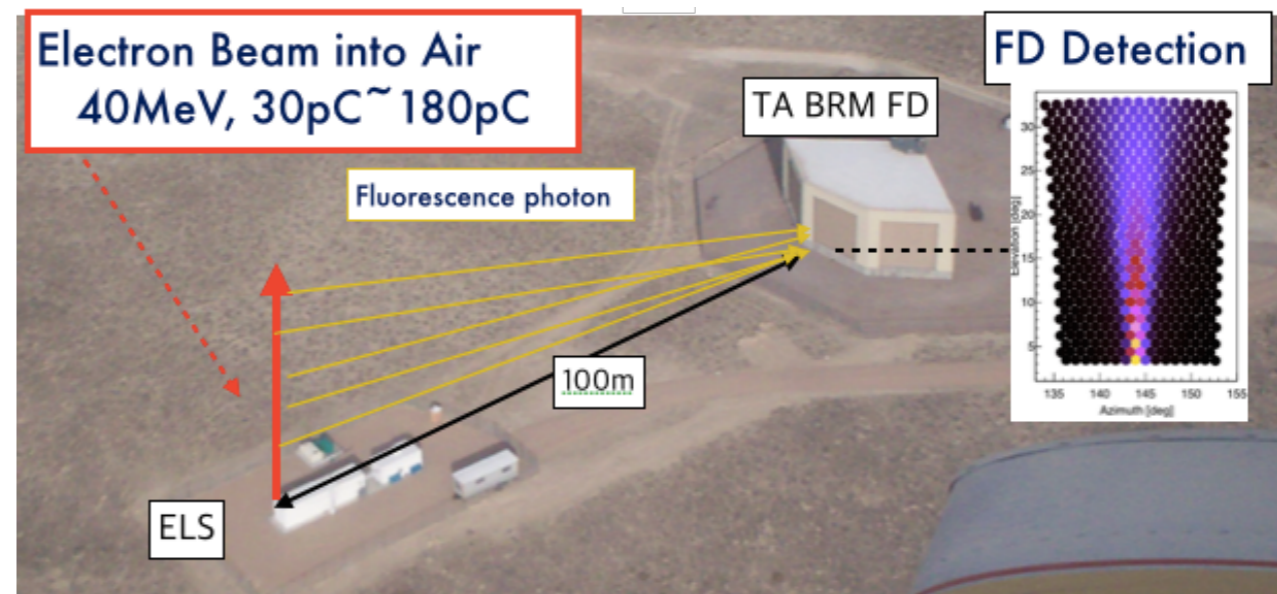
TA実験

関連実験、R&D

ELS : Electron Light Source



- TA FD キャリブレーション装置
 - 電子ビームを空中射出
 - 空気シャワーを生成しFDで蛍光を観測
- 2014年 3,10,11月のデータを解析
- ELSの系統誤差 : 7.9%
- MCとデータを比較
 - MCでは3種類の大気蛍光モデルを考慮
 - Flash, AirFlyモデルはよく一致
 - Kakimoto(TA)モデルは不一致



Run	大気状態			Data/MC		
	T[°C]	p[hPa]	H[%]	Flash	Kakimoto	AirFly
1	7.3	855.1	29.2	0.998	1.245	0.996
2	6.8	861.8	16.8	0.996	1.245	0.979
3	0.0	865.1	47.9	1.004	1.264	1.011
4	0.4	864.2	47.5	1.010	1.248	1.000
5	-1.5	864.6	63.1	1.025	1.275	1.026
6	-5.0	864.3	71.3	1.017	1.267	1.014
		平均		1.008	1.257	1.004

蛍光モデルの比較

Q in ELS data	3.3%
Soft photon background	1.5%
Cherenkov photon	0.4%
FADC of simulation	4.0%
P,T and h @ BRM	0.5%
Σ FADC in ELS MC	5.5%
Telescope Parameters	1.6%
Total	7.9%

系統誤差

(B.K. Shin et al. ICRC 2015)

ラジコンヘリを用いたFD校正



Opt-copter

マルチコプターを用いたFD校正装置

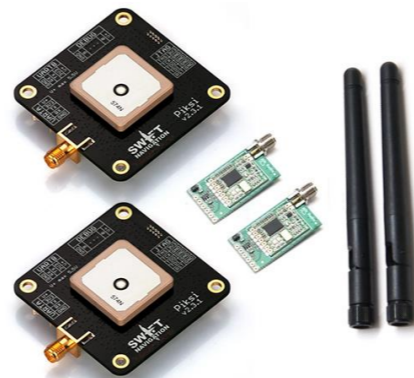
一様安定LED光源 (UV LED)

高精度位置測定

GPS試験：位置精度 $\pm 5\text{cm}$

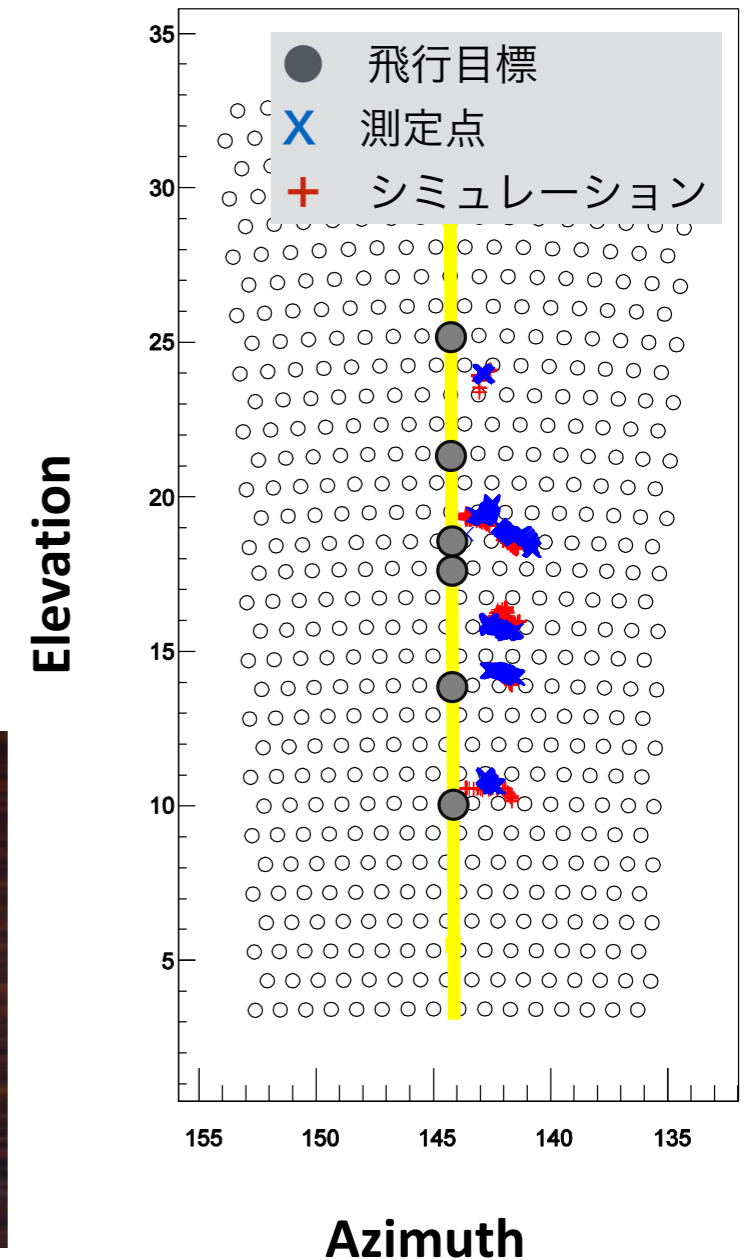
2015年3月試験観測@TAサイト

MCとデータがよく一致



RTK測量による高性能GPS

FDで観測されたOpt-copter



光源を搭載したマルチコプター



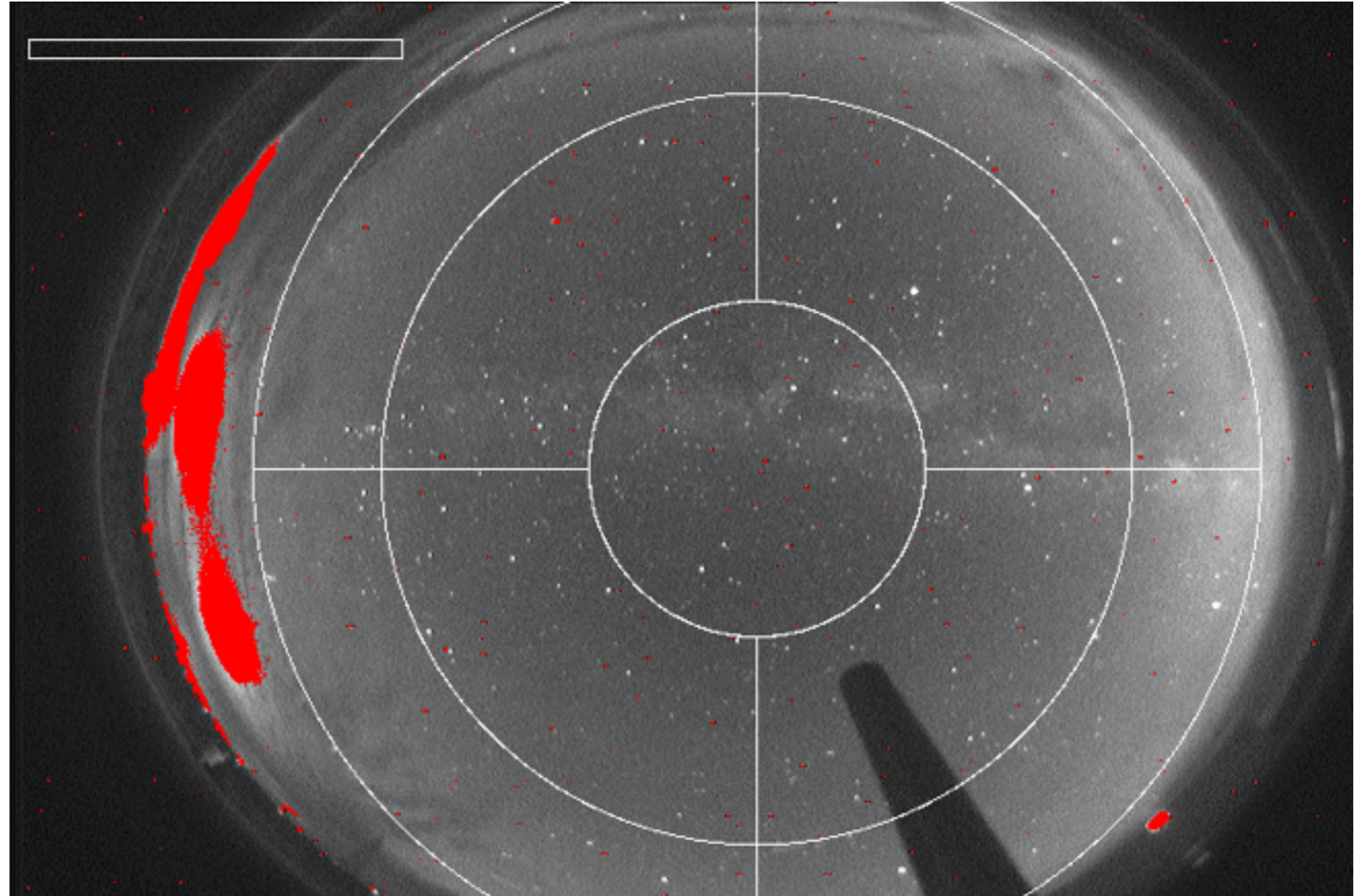
1 2 面体上に配置されたLEDと拡散球

(M. Hayashi et al. ICRC 2015)

雲モニタリング



CCDカメラ (魚眼)
BR, LR, CLFに設置
毎分撮像

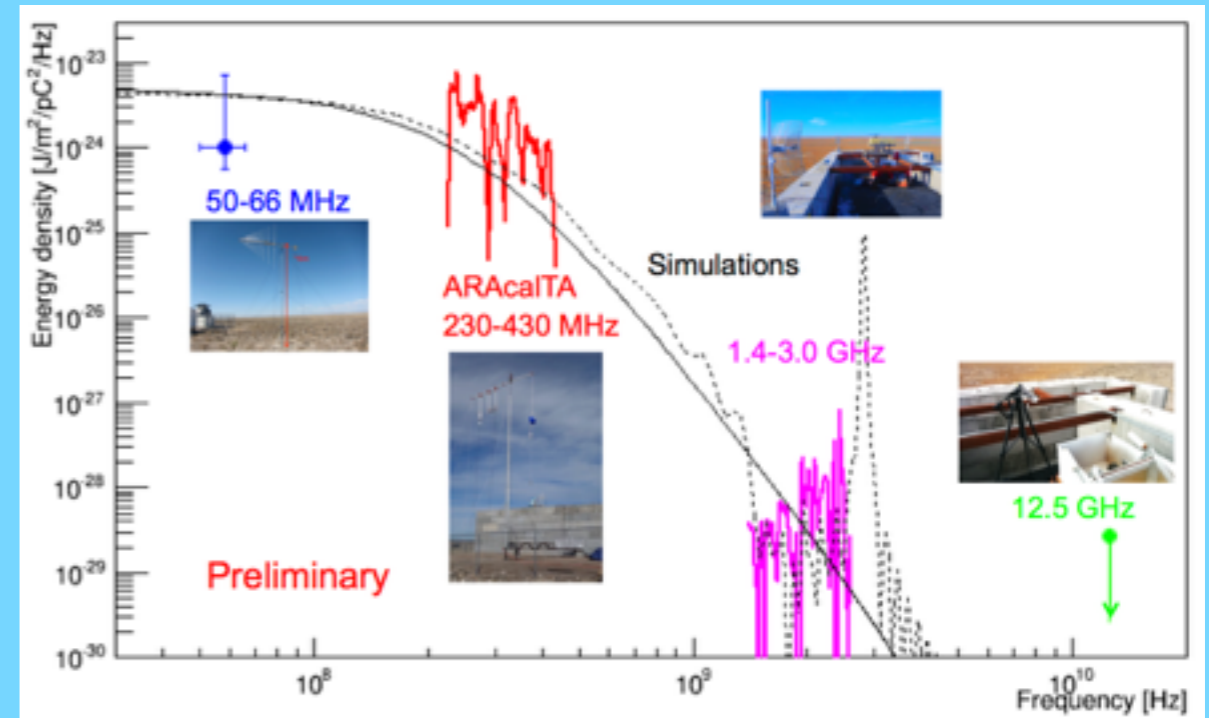


電波的観測の研究



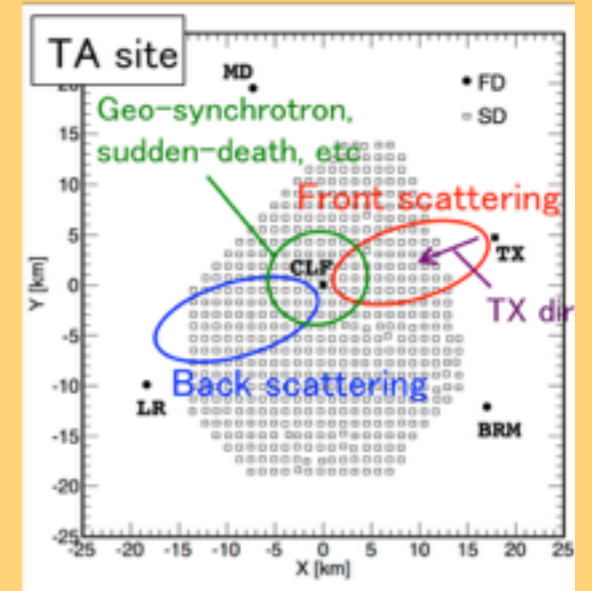
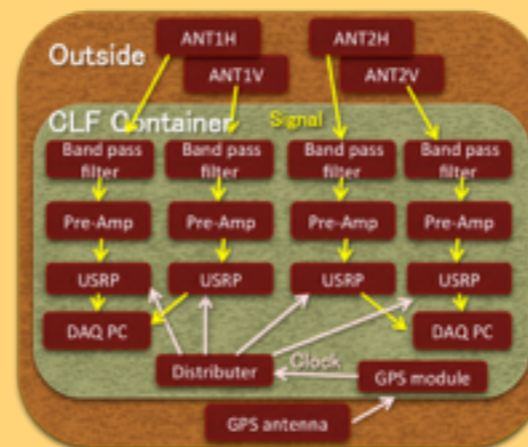
ELSを用いた電波エコー測定

- ELSから距離140m地点に送信器、受信器を設置して試験
- ビームに同期した信号を観測
- 電波エコーではない
- 電子ビーム発生時に起きる急激な電場の変化由来
Sudden Birth 現象
- 多波長測定結果とモデルによる予測は良くあっている



TA実験との宇宙線同時観測による電波エコー法の試験

- TA実験中央レーザー射出サイト (CLF) にアンテナを2基設置
- TASDトリガーでデータを記録
- 送信電波を水平から垂直偏波に変えた試験
- 送信電波停止期間は電波エコー以外の現象
- Geo-thynchrotron, Sudden birth
- 観測は継続中



(D. Ikeda et al. ICRC 2015)

TA実験とAuger実験の不一致の検証



TAとAugerの共同実験

エネルギースケール、組成、検出器の違いの理解

Auger実験の水チェレンコフ検出器を設置

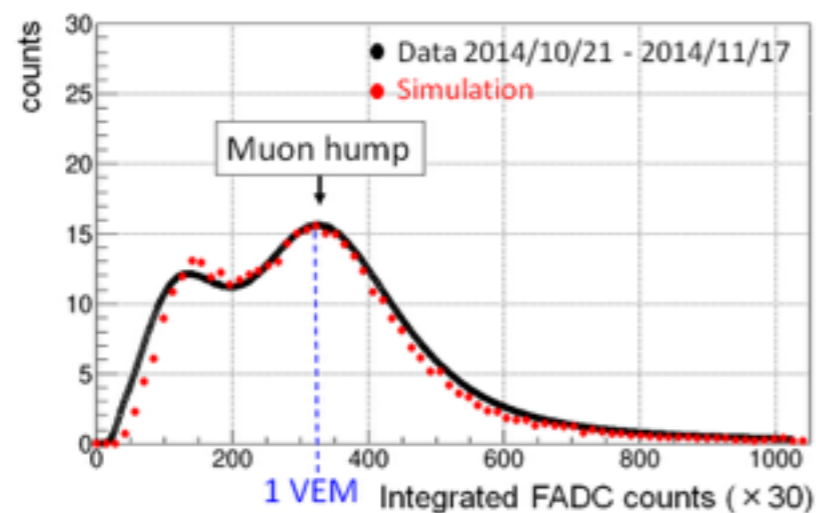
“Auger North” 2014/10より稼動

“Auger South” 2015/6 設置

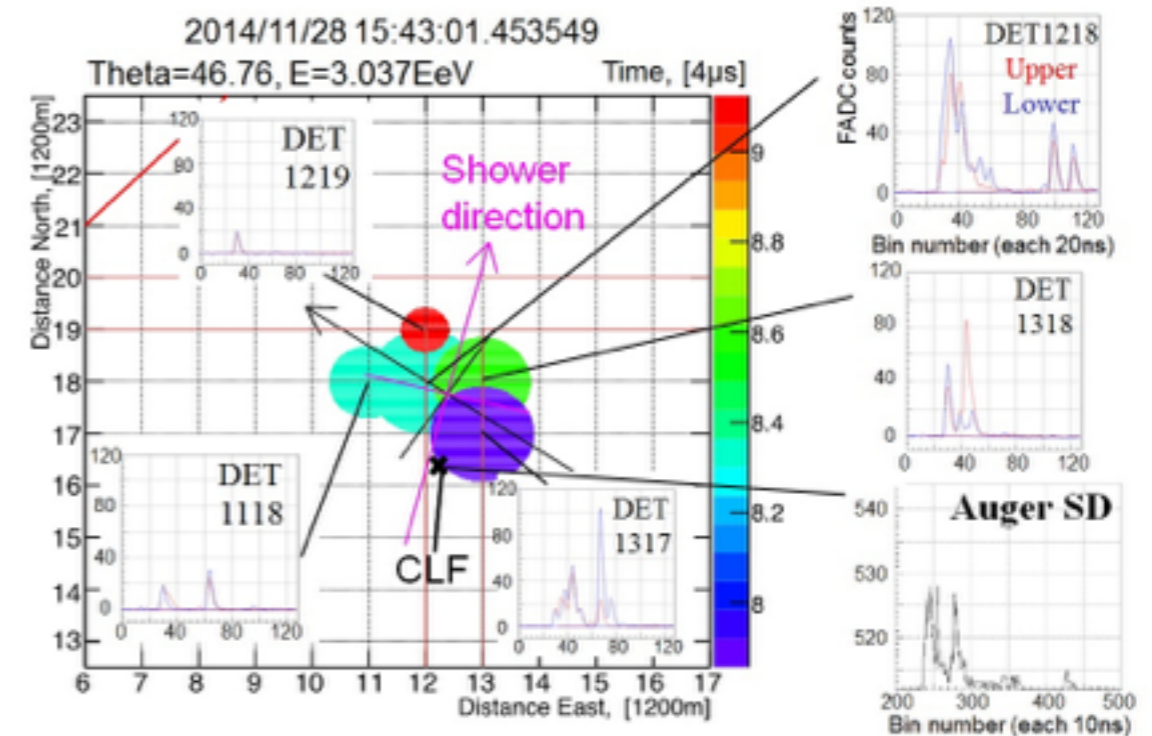
TA SD と同期したイベントの取得成功

今後 Auger検出器を増設予定

イベントレベルでの比較が目標



取得された1VEMのヒストグラム
MCがデータを再現



TA ミューオン検出器

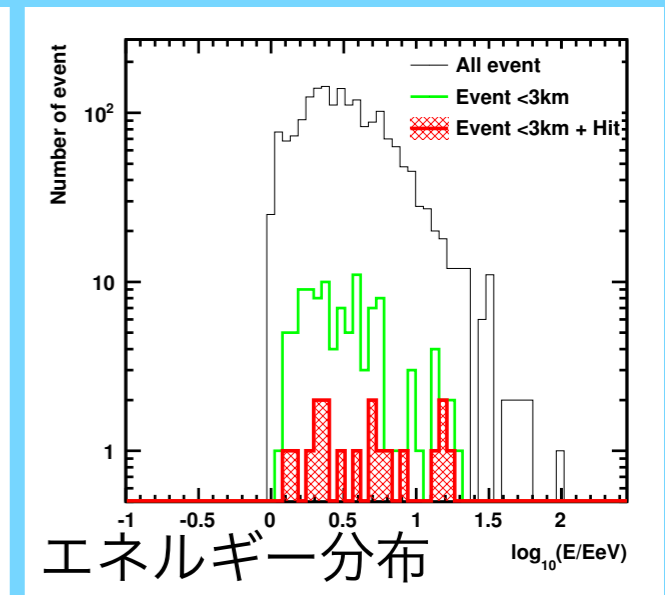
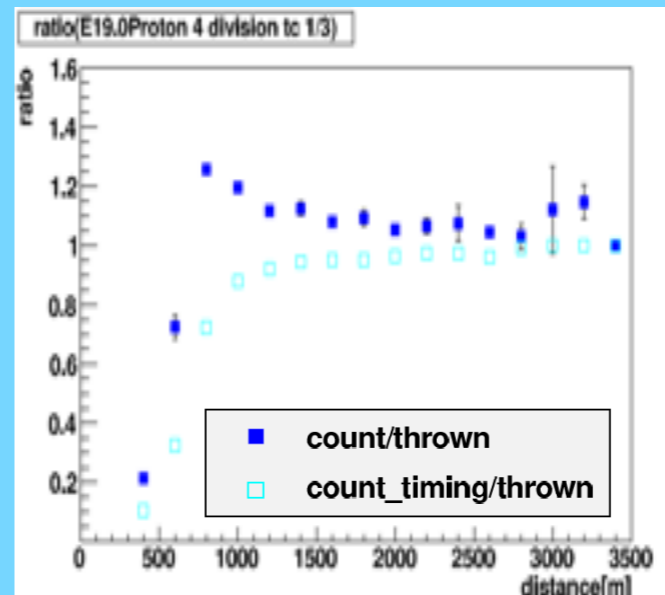
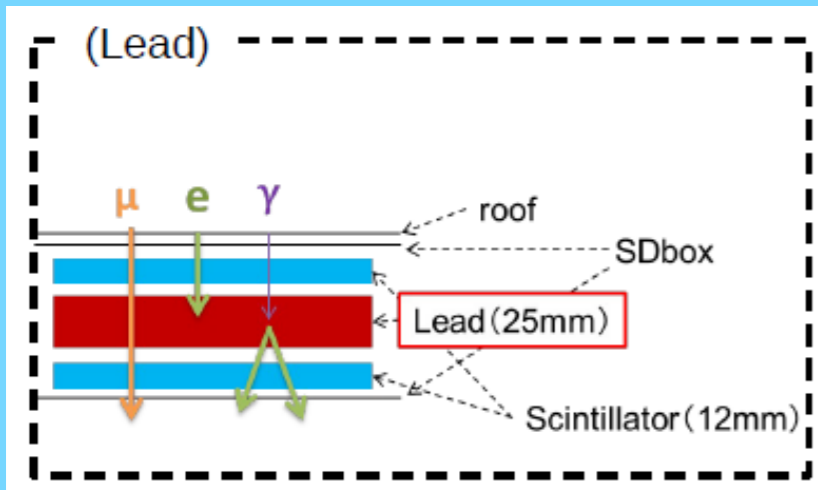


MCとデータの不一致の検証

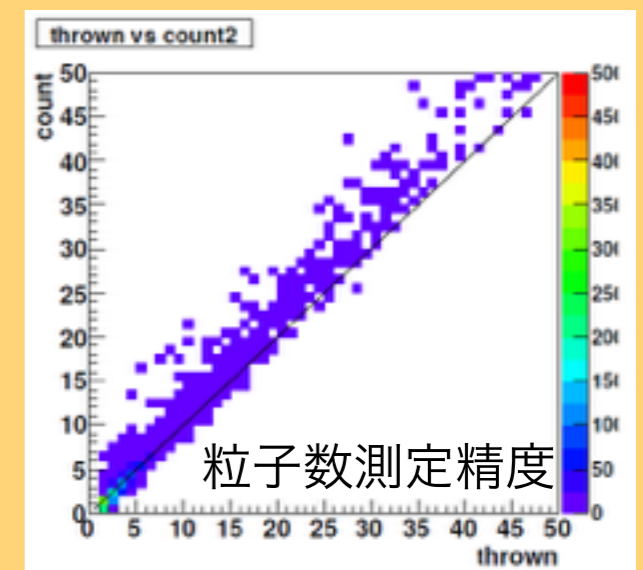
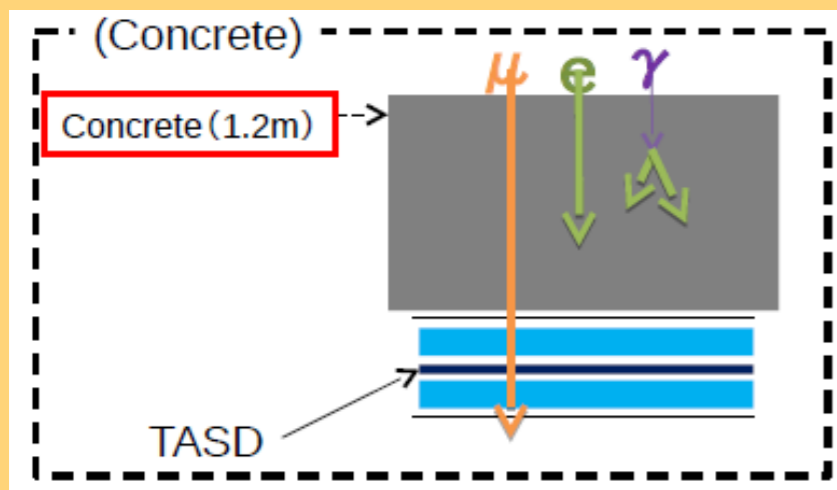
TA実験におけるFDとSDのエネルギー： $E_{SD} = 1.27 \times E_{FD}$

Auger実験におけるミューオン過剰

Lead Burger検出器 試験観測：2013/12 - 2014/5



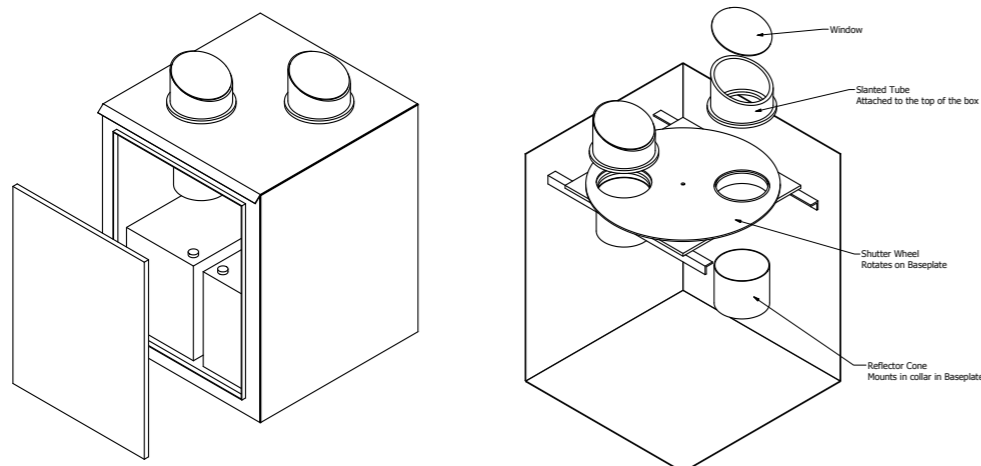
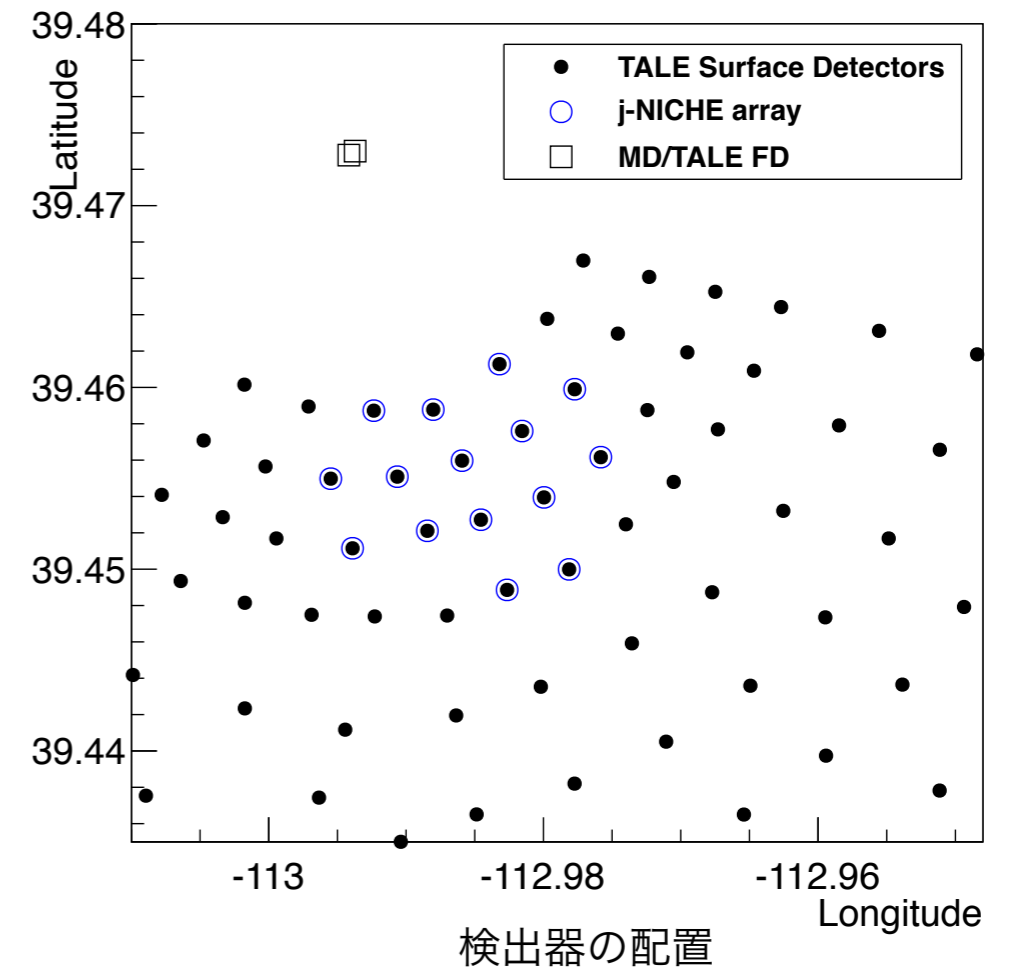
Concrete Shield 検出器



NICHE



- Non-Imaging Cherenkov Array
 - ウィンストンコーン, PMT, FADC
 - 400m間隔
 - TALEサイトに設置予定
- 1~100 PeV → TALEとのオーバラップ
- エネルギーと X_{max} の測定が可能



検出器デザイン



ウィンストンコーン



データ取得モジュール

まとめ



エネルギースペクトル

TALE実験を含め5桁のエネルギー領域で測定

陽子組成と無矛盾なスペクトル

異方性もある？

到来方向解析

ホットスポットの兆候あり(データ更新しても変わらず)

質量組成

陽子などの軽い組成

Auger実験とは系統誤差の範囲内で一致

拡張計画

TA x 4 : より高統計での観測で、ホットスポットなどを確定したい

TALE : 銀河系内から銀河系外への遷移の観測が期待

その他様々なR&Dや、Auger実験との共同研究などが行なわれている